

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OSVĚTLENÍ S PROMĚNNÝM SPEKTRÁLNÍM SLOŽENÍM A JEHO VLIV NA FYZIOLOGICKÉ FUNKCE ČLOVĚKA

LIGHTING WITH TUNABLE SPECTRAL DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON HUMAN
PHYSIOLOGICAL FUNCTIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Hanák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Petr Hanák

ID: 170599

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Osvětlení s proměnným spektrálním složením a jeho vliv na fyziologické funkce člověka

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vliv světla na člověka
2. Návrh testovací metody pro ověření vlivu spektra světla na fyzickou aktivitu člověka
3. Prověření navržené metody v laboratorních podmínkách
4. Vyhodnocení získaných dat a posouzení vlivu světla na fyzickou výkonnost člověka

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem světla na člověka a konkrétně vlivem na fyzický výkon. Cílem práce bylo navrhnout vhodnou testovací metodu pro ověření vlivu světla na fyzickou aktivitu člověka. Dále prověření navržené metody v laboratorních podmínkách a vyhodnocení získaných dat a posouzení vlivu světla na fyzickou výkonnost člověka. Za tímto účelem byla navržena měřicí metoda, dle které bylo změřeno několik osob za dvou odlišných světelných podmínek. Měření naznačuje, že osvětlení s vyšší intenzitou a spektrálním složením zahrnující krátké vlnové délky vede ke zvýšení fyziologické aktivity organismu a tím k potenciálnímu snížení fyzické výkonnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Osvětlení, cirkadiánní rytmus, cirkadiánní rytmy, tepová frekvence, LED osvětlení

ABSTRACT

In this diplomat theses are considered the effects of light on human beings, especially on physical performance. The goal of this work was to design a suitable method for evaluation of the effects of light on physical performance. Furthermore, to verify designed methods in laboratory environment and the assessment of collected data. After creating this method several people were tested under different light conditions and collected date evaluated. The results are suggesting that high intensity lighting with low wave lengths leads to an increase of physiological activity in organism and therefore to a potential decreasing physical performance.

KEYWORDS

Llghting, circadian rhythm, circadian rhythms, heartbeat, LED lighting

HANÁK, Petr. *Osvětlení s proměnným spektrálním složením a jeho vliv na fyziologické funkce člověka*. Brno, 2020, 54 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Osvětlení s proměnným spektrálním složením a jeho vliv na fyziologické funkce člověka“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	10
1 Vnímání světla	11
1.1 Fyziologie oka	11
1.1.1 Nervová soustava oka	13
1.2 Suprachiasmatická jádra	13
1.3 Spektrální citlivost	14
1.4 Vjemové pole	14
1.5 Cirkadiánní rytmus	15
1.6 Vliv modrého světla	17
1.7 Osvětlení podle Slunce	17
1.8 Vliv vlnových délek	17
2 Fyziologie a měření	19
2.1 Tepová frekvence	19
2.2 Ergometrie	20
2.3 Spiroergometrie	21
2.3.1 Průběh vyšetření	21
3 Návrh měření	23
3.1 Laboratoř a její vybavení	25
3.1.1 Laboratoř	25
3.1.2 Ergometry	25
3.1.3 Osvětlení laboratoře	27
4 Upravené měření	29
4.1 Svítidla	29
4.1.1 MILA-S	29
4.1.2 Svítidlo DEN	33
4.2 Ergometr	37
4.3 Měřicí zařízení	37
4.4 Vyhodnocení prvního měření	38
5 Druhé upravené měření	43
5.1 Výsledky druhého upraveného měření	43
5.2 Rozbor výsledků	49
5.3 Subjektivní hodnocení	50

Závěr	51
Literatura	52

Seznam obrázků

1.1	Stavba oka	12
1.2	Denní rytmy lidského těla	16
1.3	Spektrum vlnových délek Slunce	18
2.1	Tepová frekvence v průběhu jedno dne	20
3.1	Laboratoř fyziologie na ředitelství CESA VUT	26
3.2	Schéma zapojení svítidel	28
4.1	Měřicí místnost při bílém osvětlení	30
4.2	Měřicí místnost při žlutém osvětlení	31
4.3	Křivka svítivosti svítidla MILA-S [28]	32
4.4	Světelné spektrum svítidla MILA-S	32
4.5	Svítidlo MILA-S	33
4.6	DEN Nejvyšší úroveň – svítidlo	34
4.7	DEN Nejvyšší úroveň – spektrum	34
4.8	DEN Střední úroveň – svítidlo	35
4.9	DEN Střední úroveň – spektrum	35
4.10	DEN Nejnižší úroveň – svítidlo	36
4.11	DEN Nejnižší úroveň – spektrum	36
4.12	Cyklotrenažér EVO ix [29]	37
4.13	Grafy A až D	40
4.14	Grafy E až H	41
4.15	Grafy I a J	42
5.1	Měření ráno pro oba druhy osvětlení	45
5.2	Měření večer pro oba druhy osvětlení	46
5.3	Nárůst tepové frekvence pro oba druhy osvětlení	48

Seznam tabulek

4.1	Tepová frekvence při zátěži	39
5.1	Přibližný rozsah tepových frekvencí měření ráno	44
5.2	Přibližný rozsah tepových frekvencí měření večer	44
5.3	Střední tepová frekvence měření ráno	47
5.4	Střední tepová frekvence měření večer	47
5.5	Nárůst tepové frekvence ΔTF	49

Úvod

Tato práce se zabývá vlivem světla na člověka a posouzením vlivu světla na fyzický výkon. První kapitola této práce je teoretickým úvodem do problematiky vlivu světla na člověka. Nejprve je popsána fyziologie a stavba vjemových orgánů a způsob vnímání a zpracování světla. Dále pak fyziologické účinky světla od krátkých časových intervalů až po dlouhodobější působení, vliv modrého světla a respektování přirozeného svitu slunce v návrhu osvětlovacích soustav. Následující kapitola navazuje na předchozí a v úvodu se věnuje projevům světla na fyziologii člověka a měření ve fyziologii, kterými jsou změny a stav lidského těla zaznamenávány.

Na teoretický rozbor navazuje kapitola, ve které je popsán návrh měřicí metody včetně použití přístrojů a konkrétních měřících metod. První navržená metoda a především laboratoř a přístroje nemohly být použity z důvodu pandemie viru COVID-19, která měla za následek uzavření areálu, kde mělo měření proběhnout. Proto je navržena druhá metoda zohledňující jiné laboratorní podmínky. Toto měření je následně provedeno a na základě získaných výsledků měřicí metoda poupravena a měření provedeno znovu dle upraveného návrhu předchozí metody. V závěru této kapitoly je vyhodnocení druhého upraveného měření včetně přiložené fotodokumentace a hodnot z měření.

Závěrečnou částí této práce je rozbor naměřených dat finální navržené metody měření. Jsou zde rozebrány dopady osvětlení na organismus zjištěné z měření a předpokládaná fyziologická reakce na tento vliv. Poslední částí je subjektivní hodnocení ze strany měřených osob a jejich vnímání efektů osvětlení při měření.

1 Vnímání světla

Zrak je základním smyslem, který umožňuje člověku získávat informace o prostředí kolem něj. Zraková soustava se skládá z řady orgánů, používaných k přenosu světelné informace a stimulaci nervů způsobující zrakový vjem. Zrakovou soustavu člověka můžeme rozdělit do tří částí: Centrální část – korová a podkorová část mozku, spojovací – optické nervy a periferie – oči [1].

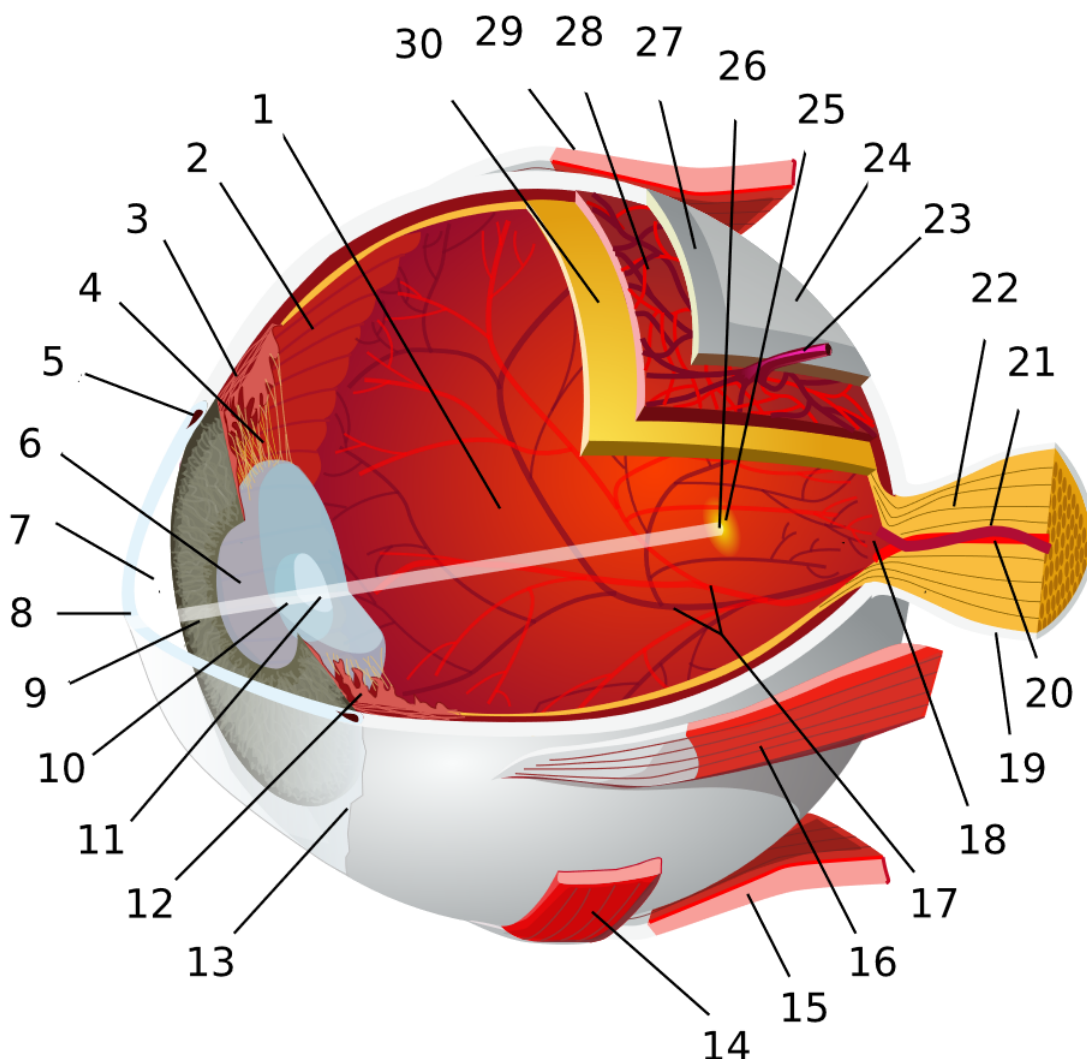
1.1 Fyziologie oka

Oko je zrakový orgán zprostředkující příjem, a do značné míry i zpracování, vstupní informace přicházející v podobě světla. Informace o vnějším prostředí se v něm upravuje na nervový signál.

Jedná se o párový orgán uložený v lebce v očních. Oko je kulovitého tvaru, což umožňuje jeho rychlý pohyb a otáčení v oční. Oko dospělého člověka má přibližně 2,5 cm v průměru [1] [2].

Zadní část oka je tvořena třemi vrstvami. Na vnější straně je bělima neboli oční bělmo, což je neprůhledná tkáň bílé barvy. Následuje cévnatka, vrstva utvořená ze spleti cév a vlásečnic. Pak následuje sítnice, tenká blána s velmi složitou a přesnou strukturou uspořádání buněk. Probíhá zde prvotní zpracování vstupní světelné informace, následné zakódování na podobu odeslatelnou do vyšších úrovní zrakového systému a určité rozřídění užitečných a neužitečných informací. Informace jsou odesílány formou frekvenčně modulovaných impulsů. Sítnice je z cévnatky vyživována přes tenkou blánu, kterou jsou odděleny. Uprostřed sítnice se nachází žlutá skvrna. Na sítnici se jeví jako jasně hnědá a nejsou zde žádné cévy. V jejím středu je centrální jamka fovea, která má průměr cca 1,5 mm. V této jamce jsou z fotoreceptorů jen čípky a toto místo má nejvyšší rozlišovací schopnost. Přibližně 18° od středu sítnice směrem k nosu je místo, kde vystupuje zrakový nerv z oka k vyšším zrakovým nervovým centrům v mozku. V tomto místě nejsou žádné světločivné buňky a je označováno jako slepá skvrna. Zadní komoru vyplňuje čirá rosolovitá hmota zvaná sklivce [2] [4] [5].

Oční bělmo v přední části přechází v rohovku, průhledný pevný obal oka. Cévnatka zde přechází v řasnaté tělísko a duhovku. Mezi duhovkou a řasnatým tělískem je přední komora, prostor vyplněný nitrooční tekutinou. Duhovka je v podstatě mechanickou optickou clonou oka tvořená hladkou svalovinou. Ve středu duhovky je přibližně kruhový otvor zvaný zornice, jímž vchází do oka světlo. Průměr zornice je možno měnit uvolněním nebo kontrakcí svalů duhovky, čím se mění množství světelného toku vstupujícího do oka. Za zornicí je na řasnatém tělísku zavěšena oční



Obr. 1.1: Stavba oka

Popis obrázku: 1 Posteriální segment, 2 Ora serrata, 3 Ciliární sval, 4 Ciliární zonule, 5 Schlemmův kanál, 6 Zornice, 7 Přední komora oční, 8 Rohovka, 9 Duhovka, 10 Čočková kůra, 11 Čočkové jádro, 12 Řasnaté tělísko, 13 Spojivka, 14 Dolní šikmé okohybné svaly, 15 Dolní přímé okohybné svaly, 16 Postranní přímé okohybné svaly, 17 Tepny a žíly sítnice, 18 Slepá skvrna, 19 Tvrdá plena mozková, 20 Centrální sítnicová tepna, 21 Centrální sítnicová žíla, 22 Zrakový nerv, 23 Vortikové žíly, 24 Tenonova fascie, 25 Žlutá skvrna, 26 Fovea, 27 Oční bělmo, 28 Cévnatka, 29 Horní přímé okohybné svaly, 30 Sítnice.

čočka, pružné tělísko dvojbypuklého tvaru. Čočka neustále roste, v průběhu života se při jejím povrchu průběžně vyvíjejí nová vlákna [2] [4] [6].

1.1.1 Nervová soustava oka

Nervová soustava oka se skládá z nervových připojení a sítnice, což je průsvitná tenká membrána s velmi složitým pravidelným uspořádáním buněk. Sítnice se skládá z několika vzájemně propojených vrstev, ve kterých jsou umístěny fotoreceptory a nervové buňky. Fotoreceptory se dále dělí na tyčinky, čípky a cirkadiánní receptory [2] [4] [5].

Tyčinky slouží ke skotopickému vidění uplatňovanému hlavně v noci, za šera a k rozlišení černé a bílé barvy. Je jich okolo 130 milionů a jsou rozmístěny po okraji sítnice [7].

Čípky zajišťují fotopické vidění, uplatňující se ve dne a jsou citlivé na světlo různých vlnových délek – barev, zodpovídají za ostrost vidění. Čípků je přibližně 6 milionů a jsou situovány v centrální jamce ve žluté skvrně sítnice, směrem k okraji sítnice jejich hustota klesá. Čípky se dělí na 3 typy podle pigmentu v cytoplasmě: S – krátké (short), M – středně dlouhé (medium), L – dlouhé (long). Každý z těchto typů je citlivý na jiné vlnové délky [5] [7].

Třetím typem fotoreceptorů jsou cirkadiánní receptory, které jsou součástí gangliových buněk a řídí biologické procesy v lidském těle s periodou přibližně 24 hodin. Perioda se může lehce měnit, ale neměla by nijak výrazně. Na sítnici dochází k základnímu zpracování vstupního světelného signálu na informaci, kterou je možno poslat do dalších úrovní zrakové soustavy.

Spektrální citlivost cirkadiánních receptorů má nejvyšší koncentraci v modré oblasti viditelného světla, které má maximum okolo 460 nm. Jejich citlivost v porovnání s citlivostí fotopického vidění a skotopického vidění je posunuta k nižším vlnovým délkám. Míra odezvy tohoto typu receptorů na světelný vzruch vstupující do oka determinuje míru cirkadiánního vlivu [2] [6] [8].

1.2 Suprachiasmatická jádra

Zkráceně SCN z anglického *Suprachiasmatic nuclei*, je oblast v mozku, konkrétně v hypothalamu, která je sídlem centrálních cirkadiánních hodin. Hlavní funkcí je udržovat cirkadiánní signál, jehož perioda se pohybuje okolo 24 hodin. Perioda je synchronizována s periodou solárního dne a je zachována i v případě stálého neperiodického prostředí. Mají na starost koordinaci, cirkadiánní, behaviorální a fyziologické procesy. Synchronizují také ostatní periferní hodiny, které jsou uloženy v mozku, různých tkáních a orgánech v těle.

SCN jsou párová jádra. U savců jsou složena přibližně z 20 000 nervových buněk. Jsou umístěny v anteroventrální části hypotalamu, a to přímo nad místem křížení optických nervů a z každé strany třetí mozkové komory. Toto umístění je strategicky výhodné vzhledem k možnosti příjmu informací jak z vnitřního prostředí čili mozkomíšního moku, tak vnějšího prostředí což jsou světelné signály z retiny.

Neurony v SCN jsou heterogenního charakteru, protože se liší ve velikosti, tvaru, funkci, aferentních a eferentních spojeních a dalších věcech. Kromě neuronů jsou v SCN také glie, konkrétně zejména astrocyty. Oboje jsou na sobě metabolicky závislé a mají doplňující funkci. Komunikace mezi nimi je zajištěna štěrbinovými spoji.

Experimentálně bylo dokázáno, že při totálním poškození těchto jader dochází ke ztrátě cirkadiánního rytmu u značné řady tělesných funkcí například u sekrece hormonů, regulace tělesné teploty nebo pohybové aktivity. V případě nahrazení (transplantací) zničené SNC novou, může být navrácen cirkadiánní rytmus. Příjemce od dárce přejímá i délku periody cyklů [5] [9].

1.3 Spektrální citlivost

Oko není na všechny vlnové délky citlivé stejně. Rozsah a citlivost na jednotlivé vlnové délky se pro každého člověka liší. Spektrální citlivost závisí na přizpůsobivosti oka a adaptačním jasu, je různá pro mezopické vidění a oblast mezi skotopickým a fotopickým viděním. Nejvyšší citlivost oka je dána citlivostí čípků, při optimální osvětlenosti se nejčastěji pohybuje okolo 555 nm. Citlivost se většinou vztahuje k maximální absolutní hodnotě citlivosti a udává se proto v poměrných hodnotách.

Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) přijala dohodu o hodnotách spektrální citlivosti takzvaného normálního fotometrického pozorovatele vyjádřeného křivkou $V(\lambda)$. Tím je zajištěna jednotnost technických výpočtů u různých pozorovatelů s odlišnou spektrální citlivostí. Maximum křivky pro skotopické vidění je oproti křivce pro fotopické vidění posunuto ke kratším vlnovým délkám. To je označováno jako Purkyňův jev – při přechodu z fotopického vidění do skotopického vidění se jasnost červených ploch snižuje a jasnost modrých ploch narůstá [2], [6].

1.4 Vjemové pole

Samotné fotoreceptory nejsou základní funkční jednotkou sítnice, tou jsou tak zvaná vjemová pole, která zastupují gangliové buňky sítnice. Jedna gangliová buňka zastupuje jeden zrakový nerv, tomu odpovídá část plochy sítnice, přibližně kruhového

tvaru, ze které lze podráždit právě jedno vlákno zrakového nervu. Vjemová pole se mohou měnit na základě jasů světelného podnětu a adaptace sítnice.

Vjemových polí existuje více funkčních druhů a typů. Jejich reakce závisí na prostorovém a časovém rozložení, úrovni osvětlenosti, spektrálním složením a jeho trváním. Mnohé nervové buňky jsou mezi sebou nejrůzněji propojeny a jsou zde zahrnuty i různé zpětné vazby. To vše výrazně ovlivňuje vyhodnocení přijímaných informací. Vjemová pole se mohou vzájemně překrývat. Typy se vzájemně liší například odlišnou reakcí částí samotného pole. Konkrétně může napřed reagovat okraj pole a následně střed nebo naopak může podnět začínat ve středu a směřovat postupně k okraji vjemového pole. Pole mohou také tyto dva typy kombinovat.

Závisí také na umístění vjemových polí v sítnici. Po okrajích, kde rozlišovací schopnost není příliš velká připadá na jednu gangliovou i několik tisíc fotoreceptorů. Na druhou stranu v oblasti centrální jamky, kde je vysoká koncentrace čípků a tím i vysoká rozlišovací schopnost, může na jeden čípek připadat jedna gangliová buňka.

Gangliové buňky nemusí reagovat po celou dobu trvání podnětu stejně. Pokud reagují po celou dobu světelného podnětu, pak zprostředkovávají informaci o kontrastech jasů, barev a drobných detailech. To je podstatné z hlediska rozlišovací schopnosti. V případě že gangliové buňky nereagují po celou dobu trvání světelného podnětu, ale jen krátce nebo přerušovaně, pak podávají informaci o časových změnách v intenzitě osvětlení a působení světelného podnětu. To hraje podstatnou roli v procesu adaptace oka [2].

1.5 Cirkadiánní rytmus

Světlo má podstatný vliv na lidské tělo a cirkadiánní rytmy, vzhledem k tomu, že většina biologických procesů v našem těle se pravidelně opakuje v přibližně 24hodinovém cyklu. Je to dáno střídáním dne a noci a s tím spojenou aktivní fází přes den a klidovou fází přes noc. Tento mechanismus se vyvinul v době, kdy byl člověk silně závislý na pravidelném střídání dne a noci, způsobeného rotací Země kolem své osy. Řada funkcí jako je tělesná teplota, tepová frekvence, krevní tlak, metabolismus, vylučování hormonů nebo třeba imunita jsou ovlivňovány cirkadiánními rytmy. Cirkadiánní rytmus mozku přizpůsobuje funkce všech tělesných orgánů vzhledem k jejich vlastnostem, pro splnění požadavků daného jedince jak ve dne, tak v noci. Této vlastnosti mozku se také říká cirkadiánní hodiny [1] [10].

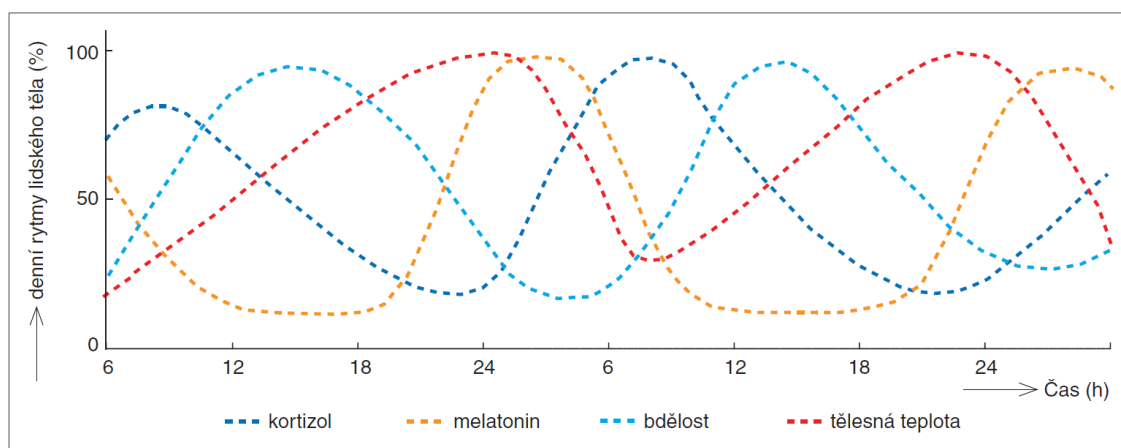
Nejvíce vnímaný rytmus je uvádění těla ráno do bdělého stavu nebo naopak do klidového stavu či večer usínání. Tento rytmus je způsoben rozdílem sekrece melatoninu a kortizolu. Melatonin, též známý jako spánkový hormon, a jeho závislost na různých světelných podmínkách je již dobře známa. Ve tmě nebo přitmě dochází ke zvýšení produkce melatoninu což má za následek únavu, ospalost či zhoršení nálady.

U některých jedinců zvýšená hladina melatoninu může způsobovat i deprese. Hormon kortizol, také zvaný jako stresový hormon, způsobuje bdělost. Nejvyšší produkce kortizolu je v ranních hodinách, kdy je hladina kortizolu 10 až 20 krát vyšší než v noci [1] [10].

Typický cirkadiální rytmus fyziologických procesů zdravého jedince by mohl vypadat následovně:

- 2:00 hluboký spánek,
- 6:00 nejnižší tělesná teplota,
- 8:00 ukončení sekrece melatoninu, nejvyšší míra sekrece kortizolu,
- 13:00 nejvyšší bdělost,
- 17:00 nejvyšší svalová síla a efektivita kardiovaskulárního systému,
- 20:00 začátek sekrece melatoninu,
- 22:00 nejvyšší tělesná teplota,
- 22:30 potlačení peristaltiky střev [1].

Produkce těchto a dalších hormonů je řízena mozkem, který dostává signály o změně osvětlení od cirkadiálních fotoreceptorů. Signál je z oka odeslán gangliovými buňkami obsahující melanopsin, který slouží k rozeznání vlnové délky světla. Gangliové buňky jsou umístěny na sítnici a zaznamenávají také dobu trvání osvětlení. Z oka se informace dostává do suprachiasmatických jader a odtud do mozku, kde je informace vyhodnocena a následně provedena příslušná akce na základě barvy světla. U cirkadiálního systému záleží na celkovém množství světla, které dopadne na sítnici. Například když se setmí informace putuje do epifyzy, kde dojde k zahájení produkce melatoninu a přípravě těla na spánek. Naopak ráno dostane informaci a zvyšující se intenzitě osvětlení a produkce melatoninu je potlačena [1] [10]. Příklad průběhu denních rytmů člověka, převzatý z [11], ukazuje obr. 1.2. Obrázek je orientační, hodnoty průběhů dnů nejsou stálé a mohou se lišit v obou osách.



Obr. 1.2: Denní rytmy lidského těla

1.6 Vliv modrého světla

Škodlivost nebo prospěšnost modré složky světla, tedy záření o krátkých vlnových délkách, záleží na době působení. V ranních hodinách a v průběhu dne je modrá složka žádoucí pro nabuzení organismu, na druhou stranu večer a v noci je vystavování organismu působení modré složky světla nežádoucí. I krátké působení v průběhu noci může mít za následek výrazné snížení produkce melatoninu. Například při srovnání modrého světla o vlnové délce 460 nm a zeleného světla o vlnové délce 555 nm, je působením modrého světla potlačena produkce melatoninu dvojnásobě oproti zelenému světlu. Snížením hladiny melatoninu a poklesem jeho produkce v organismu dochází k mnoha změnám, například ke zvýšení bdělosti, tělesné teploty a srdečního tepu a zvýší se také míra soustředěnosti. Pro měřitelnou změnu hladiny melatoninu v krvi je třeba být vystaven danému světlu alespoň 10 minut [10].

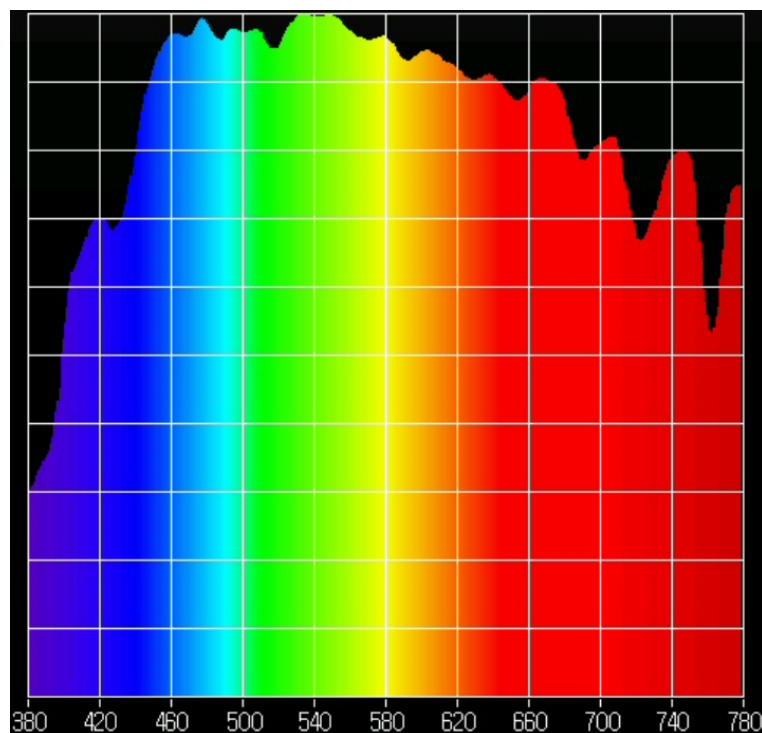
1.7 Osvětlení podle Slunce

V dnešní době se hovoří o biodynamické, human-centered nebo cirkadiánním osvětlení. Všechno jsou to spíše obchodní názvy a žádný není oficiální označení nebo blíže specifikovaný typ osvětlení. V podstatě by se mělo jednat o osvětlení respektující přirozenou proměnlivost intenzity slunečního záření v průběhu dne a cirkadiánní rytmy v lidském těle. Osvětlení nejenom že mění svou intenzitu ale také teplotu chromatičnosti. Slunce v průběhu dne vyzařuje záření na všech vlnových délkách. Ve viditelné části elektromagnetického spektra je nejvyšší vyzařování v oblasti zelené s pozvolným klesáním do červené a ostrým klesáním v modré. Elektromagnetické spektrum Slunce v rozsahu viditelného záření je na obr. 1.3. Měření bylo provedeno za jasného slunečního počasí dne 13. 5. 2020. Intenzita osvětlení je 74 357 lx, Index podání barev 99,5 a Teplota chromatičnosti 5 382 K. Vrchol spektra je na vlnové délce 548 nm, která odpovídá zelené barvě.

Stále však nejsou vyřešeny a stanoveny podmínky jakých bude muset být dosaženo při tomto typu osvětlování. Řeší se několik variant výpočetního softwaru a je vyvíjena snaha v ucelení standardu pro cirkadiánní osvětlování. Zatím ale není dosahováno potřebné přesnosti a ucelenosti parametrů svítidel [12].

1.8 Vliv vlnových délek

Různé vlnové délky mají odlišný vliv na organismus. Delší vlnové délky mají menší vliv na organismus než krátké vlnové délky. Je dokázáno, že světlo o vlnových délkách 500 nm a nižších může vyvolat potlačení produkce melatoninu po dobu několika



Obr. 1.3: Spektrum vlnových délek Slunce

hodin. Vzhledem k tomu, že receptory hladiny melatoninu jsou umístěny v hypotalamu, což je zároveň centrum regulace tělesné teploty. Tím pádem sekrece melatoninu je úzce spojena s tělesnou teplotou. Právě působení krátkých vlnových délek může pozastavit klesání tělesné teploty ve večerní době kdy dochází k jejímu přirozenému snižování. Stejně tak dokáže podpořit nejen sekreci melatoninu, ale zároveň přirozené zvyšování teploty v ranních hodinách. Že organismu reaguje jak na vlnovou délku, tak na intenzitu osvětlení, bylo prokázáno při experimentech, kdy byl vystaven osvětlení o odlišných teplotách chromatičnosti, ale shodné intenzitě osvětlení. Při osvětlení s teplotou chromatičnosti do 3 000 K a červeném světle byla odezva organismu minimální. Na druhou stranu při osvětlení s teplotou chromatičnosti okolo 6 500 K o zelené a modré barvě byla odezva podstatně vyšší. Při změnách intenzity osvětlení za konstantní teploty chromatičnosti se reakce organismu mění v závislosti na intenzitě osvětlení [13].

2 Fyziologie a měření

2.1 Tepová frekvence

Tepová frekvence je rychlost, jakou v určitý moment tepe srdce. Uvádí se v počtech tepů za minutu, což nám říká, kolikrát se srdce za jednu minutu stáhne, aby přečerpalo krev v organismu. V klidovém stavu se u většiny lidí pohybuje mezi 60 a 90 tepy za minutu. Toto číslo se liší jedinec od jedince a je závislé na trénovanosti organismu. Běžci, a to i na volnočasové úrovni, mohou mít klidovou tepovou frekvenci pod 60 tepů/min. Elitní vytrvalostní sportovci se mohou dostat dokonce až k hodnotám 30 tepů/min [14] [15].

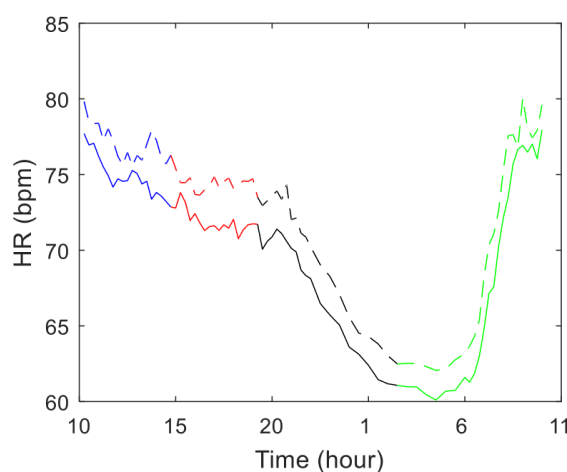
Tepová frekvence je důležitým ukazatelem stavu organismu, a to nejen klidovém stavu, ale také při zátěži. Hodnoty tepové frekvence se velmi mění v rámci snahy kardiovaskulárního systému udržet stabilitu organismu pro zachování životních funkcí. V odpovědi na zátěžovou situaci se tepová frekvence mění – zrychluje či zpomaluje [16].

Reakce transportního systému (dýchací + kardiovaskulární systém) na dynamic-kou fyzickou zátěž, lépe řečeno přechod z klidového stavu do zatížení, má dvě fáze. První z nich je iniciální, která trvá zhruba 30 – 45 s. V této fázi dochází k velkým funkčním změnám v organismu. Druhou fází je fáze přechodová. Ta je pomalejší, trvá několik minut. V této fázi dochází k postupnému přizpůsobení transportního systému na požadavky pracujících svalů, které potřebují ke své funkci dodávat velké množství kyslíku. Tepová frekvence se přitom zvyšuje. Při zatížení o intenzitě okolo 60% na tento stav navazuje fáze rovnováhy, tzv. setrvalý stav. Setrvalý stav nastane tehdy, kdy se systém vyrovnal s požadavky organismu na přísun kyslíku a odvod metabolitů se svalů. V tomto stavu tepová frekvence kolísá v rozmezí ± 4 tepy/min. Pokud je však intenzita zatížení velmi vysoká, k setrvalému stavu nemusí ani dojít [17].

Fyzická zátěž ovšem není jediný vliv, který ovlivňuje hodnotu tepové frekvence. Naše mysl a emoce mohou také vyvolat reakci tělesných systémů včetně kardiovaskulárního. Výzkum z posledních let [18] dokazuje, že psychologický stres, čili stresující situace či pocity ohrožení, zvyšují tepovou frekvenci jedince. V tomto výzkumu vychází najevo, že psychologický stres může zvýšit tepovou frekvenci o více než 10 tepů/min.

Tepová frekvence také kolísá v průběhu dne na základě změny intenzity slunečního svitu/světla a tudíž změny koncentrace hormonu melatonin v těle. Tomuto jevu říkáme cirkadiánní rytmus tepové frekvence. Tento rytmus se opakuje každý den (24 hodin) víceméně stejně. Mezi 9:30 a 19:30 dochází k postupnému klesání tepové frekvence. Rychlejší pokles můžeme zaznamenat mezi 19:30 a 2:00, mezi 2:00

a 6:00 pak zůstává tepová frekvence víceméně konstantní. V ranních hodinách potom dochází k rychlému nárůstu tepové frekvence, a to mezi 6:00 a 9:30 [19] [20]. Graf změny tepové frekvence v průběhu dne je na obr. 2.1, převzato z [19].



Obr. 2.1: Tepová frekvence v průběhu jedno dne

Obrázek 3: Tento graf znázorňuje závislost tepové frekvence na čase v průběhu celého dne. Křivka je pochopitelně odlišná pro každého člověka. Plnou křivkou je znázorněn průběh u člověka s normální krevním tlakem. Přerušovanou potom jak se tepová frekvence změní pro případ, že má člověk vysoký tlak. Modrá část křivky je čas 9:30 – 15:00, červená 15:00 – 19:30, černá 19:30 – 2:30 a zelená 2:30 – 9:30.

Kromě vnějších vlivů a trénovanosti však také hodnotu tepové frekvence ovlivňuje věk jedince. V tomto případě však nemluvíme o klidových hodnotách, ale o hodnotách maximálních, kterých je srdce jedince schopno dosáhnout. Maximální tepovou frekvenci můžeme jednoduše vypočítat vzorcem 220-věk. Hodnota nebude samozřejmě nikdy úplně přesná, jde pouze o univerzální vzorec. Ukazuje nám však, že maximální tepová frekvence klesá s každým rokem, přičemž tento vzorec je použitelný již od věku okolo 15 let [21].

2.2 Ergometrie

Jedná se o neinvazivní vyšetřovací metodu, kterou je sledována práce srdce při zátěži. Konání náročné aktivity má za následek zvýšenou spotřebu kyslíku a energie ve svazech. Potřebné látky jsou dopravovány krví, a proto dochází k rozšíření tepen v namáhané oblasti a ke zúžení v oblastech méně potřebných pro daný okamžik. Stejně tak dochází ke zvýšení spotřeby kyslíku a energie v srdečním svalu a dochází tak k rozšíření koronárních cév, pro vyšší přísun krve.

K měření se používá speciální rotoped nebo běžecký pás. Pro jedince s poruchou nebo onemocněním dolních končetin nebo obecně pro osoby, které nejsou schopny absolvovat měření simulací běhu nebo jízdy na kole se používá rumpál, kde je zapojována jen horní polovina těla.

Ergometrie je nejčastěji prováděna v případě podezření na srdeční onemocnění, jako kontrolu při průběhu léčby, pro stanovení vývoje onemocnění nebo třeba jako kontrola po chirurgickém zákroku. Dále je také využívána v hojné míře ve sportu, a to nejen u vrcholových sportovců. Touto metodou lze stanovit ideální únosnou míru zátěže nebo rehabilitace, lze sledovat průběh fyzické výkonnosti sportovce a stanovit optimální tréninkový plán.

Pro vyšetření jsou komplikací některá onemocnění a fyzické stavy měřených jedinců. Měření nelze podstoupit při závažných poruchách srdečního rytmu a podobných onemocnění, kde závažnost posuzuje lékař. Při měření může docházet i ke komplikacím ve formě závratí, slabostí, či zvýšené přetrvávající slabosti [22] [23].

2.3 Spiroergometrie

Spiroergometrie se používá pro doplnění zátěžového testu ergometrie o vyhodnocení vdechovaných a vydechovaných plynů. Konkrétně se jedná o masku, díky které je přesně měřeno množství vdechovaného kyslíku a vydechovaného oxidu uhličitého [24] [17]. Přes masku je vdechován vzduch z okolního prostředí. V ústí masky se ve většině případů nachází malá turbína, která je uváděna do pohybu prouděním vzduchu jedním nebo druhým směrem, při výdechu a nádechu. Z masky, konkrétně z turbíny, je vyvedena hadička, která má za úkol odvádět část plynů procházejících maskou do vyhodnocovací jednotky. Podle směru otáčení turbíny je zaznamenáváno, zda se jedná o vdechované plyny nebo o plyny vydechované. Na základě rozboru těchto plynů se stanovuje míra spotřeby kyslíku a odvádění oxidu uhličitého a odpadních látek z těla. Toto měření umožňuje přesnější stanovení aktuálního stavu výkonnosti organismu.

2.3.1 Průběh vyšetření

Před začátkem měření jsou připojeny elektrody na příslušné oblasti hrudníku a zad a jsou zaznamenány klidové hodnoty pro následné srovnání. Po zahájení měření je v periodických intervalech zvyšována zátěž čili odpor ergometru, proti kterému proband šlape nebo rychlost a sklon běžeckého pásu. S narůstající zátěží se zvyšují také nároky na kyslík a energii a zvyšuje se tepová frekvence.

Test je ukončen po dosažení vyšetřovaného maxima, tím je většinou submaximální nebo maximální tepová frekvence. Submaximální a maximální tepová frek-

vence se stanoví podle věku měřeného jedince. Měření je také ukončeno v případě zdravotních komplikací jako jsou bolest na hrudi, dušnost, točení hlavy a podobně. Stejně tak je test ukončen uzná-li to obsluha ergometru za vhodné vzhledem k měřeným hodnotám.

Délka měření většinou nepřesahuje 15 minut, kdy po skončení měření je ještě cca 5 minut odpočinku, během kterých jsou stále zaznamenávány měřené hodnoty pro získání informací o uklidňování organismu a návratu do běžného klidového stavu. S tím souvisí jak zaznamenávání snižování tepové frekvence, tak analýza vdechovaných a vydechovaných plynů.

3 Návrh měření

Vzhledem k tomu, že se jedná o prvotní měření, které s nejvyšší pravděpodobností nemělo zatím obdoby, neexistují data ani podobná měření, ze kterých by se dalo vycházet, muselo být celé měření navrženo od základů. Pro vytvoření měření bylo osloveno několik lékařů a fyziologů zabývajících se světelným vlivem na člověka nebo měřeními ve sportu. Po konzultaci s několika z nich byl navrženo několik variant použitelných v tomto měření.

Pro měření byl zvolen ergometr v podobě běžeckého pásu. Uvažovalo se i o rotopedu, ale chůze a běh na pásu jsou přirozenější pohyb a je zapojováno více částí těla. Test by měl sestávat z několika fází. První fází ještě před samotným měřením je doba na aklimatizaci na osvětlení v laboratoři, které již bude shodné jako v průběhu samotného měření. Tato doba je okolo třiceti minut. Během aklimatizace měřená osoba vyplní krátký dotazník, který bude mít za cíl eliminovat potenciální nesrovnalosti v měření. Například kvalitu spánku předešlé noci, jestli je dotyčný spíše skřivan nebo sova, míra fyzické aktivity v předcházejících dnech, úroveň stresu ať kvůli negativním tak pozitivním vlivům, požití alkoholu ve větší míře a podobně. Nejen fyzická, ale i psychická únava se významně podílí na celkovém stavu jedince a tím i na fyzickém výkonu jaký dokáže podat. Například stres má za následek produkci kortizolu, který dělá člověka bdělejším a tudíž by mohl mít nepříznivý vliv na měření.

Druhou částí je pak samotné měření. To trvá 15 minut plus několik minut po testu na zklidnění organismu. První tři minuty jsou na srovnání organismu s měřením a danou zátěží a mají sloužit k ustálení psychického stavu při měření. Následuje dvakrát šest minut o různých zátěžích. Prvních šest minut je nízká zátěž stejná jako tomu bylo v předcházejících třech minutách. Po uplynutí devíti minut od začátku měření dojde ke změně zátěže na vyšší hodnotu. Těchto šest minut zůstává zátěž po celou dobu opět konstantní až do konce, kdy je zátěž snížena.

První stupeň bude nízká zátěž, konkrétně klidná chůze na pásu čemuž odpovídá hodnota okolo 4 km/h. Tato hodnota by měla být objektivní pro všechny měřené jedince neohledně na výkonnost. Hodnota odpovídá přirozené normální chůzi, na kterou jsou všichni zvyklí a bude tím změřen vliv světla na fyzickou aktivitu při běžném pohybu člověka. Ve druhém stupni dojde ke zvýšení rychlosti za hranici chůze, a to na 8 – 9 km/h. Při této rychlosti budou všichni již muset přejít z chůze do volného klusu. Rychlost však není příliš vysoká, aby byla únosná pro všechny jedince. Nadměrné zatížení by mohlo mít za následek zvýšení tepové frekvence až do oblasti anaerobního prahu, kdy dochází k překyselení organismu a „ztuhnutí“ svalů. Při tomto stavu není člověk schopen vykonávanou aktivitu nadále provozovat při stejném zatížení a je nutno zpomalit nebo snížit zátěž. Měření by potom bylo nepoužitelné.

Výše popsaný postup měření je shodný pro všechny hladiny osvětlení i denní doby.

Při měření bude použito dvou odlišných hladin osvětlení, jejichž odlišný vliv na fyzický výkon bude vyhodnocován. První osvětlení by mělo simulovat sluneční svit za jasného dne, takže by mělo být o vysoké intenzitě alespoň 500 lx nebo 600 lx, plném spojitém spektru viditelné oblasti vlnových délek a teplotě chromatičnosti nad 4000 K. Druhé osvětlení by právě naopak mělo simulovat večerní či noční režim. Intenzita osvětlení by měla být velice nízká, nejlépe pod 100 lx. Ve spektru by měla být potlačena modrá složka. V ideálním případě by neměla být přítomna vůbec. Celkově by ze spektra měla být zastoupena primárně žlutá a oranžová složka. Ostatní barvy jsou nežádoucí.

Co se denní doby týče, tak měření proběhne třikrát denně, a to ráno, kolem poledne a v pozdním odpoledni nebo podvečer. Důvodem je vliv cirkadiánních rytmů a jejich vliv na produkci hormonů jako je například melatonin řídící spánek. Měření proběhne pro každou dobu jednou při každém osvětlení, celkem tedy šestkrát. Měření nebude probíhat hned po sobě pro časovou náročnost a také pro zatížení organismu nestandardním úkonem. Proto bude druhé měření realizováno nadcházející týden ve stejný den a stejný čas.

Pro široké možnosti a velké množství různých měřících zařízení v laboratoři bude měřeno co nejvíce možných údajů. Tyto údaje by měly sloužit pro rozšíření možností vyhodnocování a hledání vlivů různého osvětlení na fyzický výkon. Tím pádem bude proveden spiroergometrický test pro změření tepové frekvence společně s analýzou vdechovaných a vydechovaných plynů. Zároveň se spiroergometrií bude také měřena oxidace krve, což je procentuální hodnota míry okysličení krve.

Vyhodnocovány mezi sebou budou průběhy odpovídající stejné denní době, kdy každý bude za jiného osvětlení. Vliv jiného osvětlení bude hlavní proměnný faktor, jehož vliv bude pozorován. Například poté co budou změřeny obě rána, jedno při vysoké intenzitě osvětlení a druhé při nízké intenzitě osvětlení, budou tyto dva průběhy porovnány mezi sebou. Primárně bude srovnávána tepová frekvence a hledány stejné nebo aspoň podobné změny u všech měřených subjektů.

Měřenou skupinou by měli být primárně jedinci z řad studentů ve věku 20 až 25 let ideálně stejné zastoupení žen i mužů. Měli by být fyzicky aktivní, aby se zamezilo případnému nechtěnému nadměrnému fyzickému zatížení náhodnými sportovními aktivitami ve dnech před měřením, které by mohlo mít negativní dopad na měření. Na druhou stranu by také nemělo jít o profesionální a vrcholové sportovce, protože by u nich mohl být potlačen samotný vliv světla vysokou úrovní trénovanosti těla na fyzickou zátěž za jakýchkoliv podmínek.

3.1 Laboratoř a její vybavení

Pro měření měla být využita laboratoř fyziologie a sportovní medicíny na ředitelství CESA VUT, to bohužel nebylo možné vzhledem k uzavření vysokých škol z důvodu pandemie koronaviru a tím zneprístupnění laboratoře. Popis náhradního místa měření a testu, který byl realizován, je popsán v následující kapitole.

3.1.1 Laboratoř

Laboratoře na ředitelství CESA jsou od léta 2019 úplně nové, vybavené nejmodernější měřicí technikou na trhu. Laboratoře jsou určeny primárně pro výuku v rámci studijních oborů na VUT. K tomu samozřejmě spadá i měření bakalářských a diplomových prací. Částečně by měly sloužit i jako laboratoře pro měření vědeckých prací a potenciálně využity i pro komerční měření.

K dispozici je celá řada měřících zařízení pro fyziologii a lékařskou medicínu. Nejpodstatnější pro tuto práci jsou zařízení pro ergometrii a spirometrii. Laboratoř disponuje třemi zařízeními pro ergometrii, a to běžecským pásem, rotopedem a rumpálem. Pro měření bude využit pouze běžecský pás, každopádně všechny tři ergometry je možno využít pro spirometrické měření připojením elektrod EKG a masky s turbínou pro záznam dat o vdechovaných a vydechovaných plynech. Dále pak budou využity tonometry pro změření krevního tlaku před a po měření a oximetry měřící okysličením krve v kapilárách na periferiích, v tomto případě na břišku ukazováku pravé nebo levé ruky. Veškerá data jsou ukládána do počítače s využitím příslušného měřicího a vyhodnocovacího softwaru. Získaná data budou následně převzata a upravena pro vyhodnocení dle cílů této práce.

3.1.2 Ergometry

LODE Valiant 2 sport LODE Valiant 2 sport je jeden z nejmodernějších ergometrických běžecských pásů na trhu. Byl speciálně navržen pro použití ve sportovní medicíně a fyziologii. Běžecský pás je možno ovládat dvěma způsoby, a to přes řídicí software MetaSoft Studio, při připojení k počítači nebo na malé řídicí jednotce s dotykovým displejem umístěnou na předním rámu běžeckého pásu. Na počítači je možné nastavit kompletně celý protokol, který bude následně proveden. Vše je přehledně vizualizováno v řídicím programu a značně usnadňuje orientaci v protokolu a případné úpravy. Zátěž je měněna dvěma způsoby, buď zvýšením rychlosti otáčení pásu nebo změnou sklonu celého pásu, čímž je simulován běh do kopce. Omezené ovládání je také možné přes řídicí jednotku s na dotykovém displejem. Řídicí jednotka je programovatelná a lze do ní nastavit až 50 protokolů [25]. Ergometr je součástí fotografie laboratoře na obr. 2.1.



Obr. 3.1: Laboratoř fyziologie na ředitelství CESA VUT

Speciální ergometr LODE Excalibur Sport Rotoped vyvinutý pro laboratoře sportovní medicíny, schopný zvládat zátěž až do 2 500 W. I bez připojení k počítači je možné provádět měření a tréninky. Řídicí jednotce lze neprogramovat protokoly například pro měření srdeční frekvence. Při připojení k počítači je možno nastavovat zátěž dle libosti v různých časových průbězích. Celý průběh je přehledně vizualizován a je možno ho snadno upravovat. Ergometr obsahuje různé doplňky k měření, za zmínku stojí měření síly na pedálech, který umožňuje možno měřit sílu jakou jezdec působí na každý pedál samostatně [26]. Ergometr je součástí fotografie laboratoře na obr. 2.1.

Ergoline Ergoselect 400 Jedná se o ergometr v podobě rumpálu umožňující testování horní poloviny těla. Vzhledem k tomu že se měření provádí v sedě a nejsou zapojovány dolní končetiny, tak je to jediný způsob, jak lze změřit jedince se sníženou pohyblivostí, kteří jsou upoutáni na invalidním vozíku. Invalidní vozík lze přistavit přímo k ergometru na místo křesla ergometru. Samozřejmě není ergometr určen cíleně jen pro jedince na vozíku, ale celkově k měření horní poloviny těla nezávisle na dolní. Řídicí jednotka umožňuje ovládání a měření i bez připojení k počítači. Při připojení k počítači lze celé měření nastavit a řídit z počítače stejně jak tomu bylo u předchozích dvou ergometrů. Ergometr je možno využít nejen k měření, ale také pro trénink svalů horních končetin a zádového svalstva [27]. Ergometr je opět součástí fotografie laboratoře na obr. 2.1.

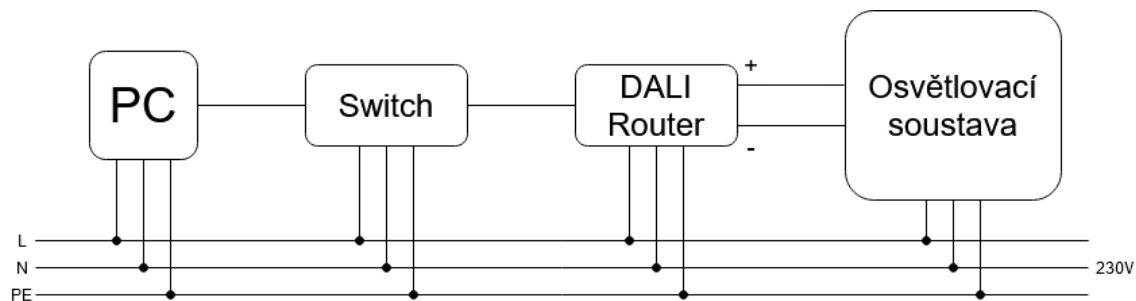
3.1.3 Osvětlení laboratoře

V laboratoři je původní osvětlení, které tvoří čtyři zářivková svítidla nedostačující pro měření. Laboratoř by měla být osvětlena soustavou svítidel zajišťujících vyhovující světelné podmínky pro měření. Ideálně s nastavitelnou intenzitou osvětlení a možnosti změny světelného spektra. Za těchto podmínek bude možno provést veškerá měření za pomoci jedné osvětlovací soustavy s jedním typem svítidel.

Na základě konzultace s firmou Halla a jejich možností co se zapůjčení svítidel týče, byla vybrána svítidla MILA-S. Jedná se o stmívatelná LED svítidla s širokým rozsahem intenzity osvětlení a velkými možnostmi v míchání barev pro docílení požadovaného světelného spektra. Daná svítidla nahradí zářivkové osvětlení upevněním na samostatnou nosnou konstrukci, neboť do původní instalace nemůže být zasaženo. K docílení maximální opakovatelnosti měření samozřejmě dojde k zatemnění oken a jiných nežádoucích zdrojů světla. Podrobný popis parametrů použitého osvětlení je v následující kapitole.

Vzhledem k tomu že svítidla používají komunikační protokol DALI je nutno je řídit přes výpočetní techniku. DALI sběrnici vytvoří příslušný router, ten je přes

switch připojen k počítači. V počítači pomocí vhodného software se svítidla připojí a mohou být libovolně řízena. Díky tomu je možno nastavit konkrétní a přesné hodnoty intenzity osvětlení i namíchat barvy pro obě měření zvlášť a při každém měření mít hodnoty přesně stejné. Schéma zapojení je vidět na obr. 3.2.



Obr. 3.2: Schéma zapojení svítidel

4 Upravené měření

Před začátkem měření bohužel vypukla pandemie viru COVID-19, což mělo za následek uzavření všech laboratoří. Aby bylo možno měření realizovat vzhledem k nejisté situaci muselo být upraveno a přesunuto z laboratoře do domácího prostředí, kde s velmi omezenými možnostmi bylo měření uskutečněno.

Za účelem měření byla upravena jedna místnost dle potřeby. Místnost byla vybavena potřebnými svítidly, stěny zakryty bílými prostěradly pro lepší světelné podmínky. Dále pak zatemněno okno pro zamezení přístupu nežádoucího osvětlení z venkovních prostor, které by znemožnilo získání shodných světelných podmínek při opakování jednotlivých měření. Místnost je vyobrazena pro oba typy osvětlení na obr. 4.1 4.2.

Samotné měření muselo být také poupraveno. Nebyl k dispozici běžecký pás, ale pouze rotoped. Postup měření zůstal zachován tak jak byl navržen původně takže stejně jak tomu bylo na běžeckém páse byly zvoleny dva stupně zátěže. Každý z nich o délce šesti minut s tříminutovým aklimatizačním rozehrátím před první zátěží na úrovni odpovídající prvnímu stupni zátěže. Samotnému měření předcházela vždy alespoň čtvrt hodina, po kterou byl proband v klidu přítomen v místnosti s osvětlením odpovídající aktuálnímu měření. Zátěž bohužel bylo třeba nastavovat manuálně, protože rotoped jiný způsob neumožňoval, možnost elektronického řízení tedy nepřicházela v úvahu. Počet měření byl snížen pouze na ráno a pozdní odpoledne. Bylo tedy vynecháno měření v poledne. Zachováno bylo osvětlení o dvou odlišných intenzitách osvětlení a jiném složení světelného spektra.

4.1 Svítidla

Skrze technické komplikace a omezení provozu mnohých prodejen a zařízení v průběhu nouzového stavu nemohlo být osvětlení v místnosti realizováno pouze pomocí svítidel MILA-S od firmy Halla. Musel být přidán ještě druhý světelný zdroj, a to svítidlo DEN pro zvýšení intenzity osvětlení a upravení barevného spektra. Svítidlo bylo také využito pro měření při nízké intenzitě osvětlení.

4.1.1 MILA-S

LED Svítidlo od firmy HALLA zapůjčené cíleně pro potřeby této práce. Svítidlo bylo vybráno na základě svých parametrů a možností výrobce pro zapůjčení svítidel pro měření. Při výběru bylo cíleno na možnost regulace intenzity osvětlení a možnost míchání barev pro docílení hledaných variant osvětlení.

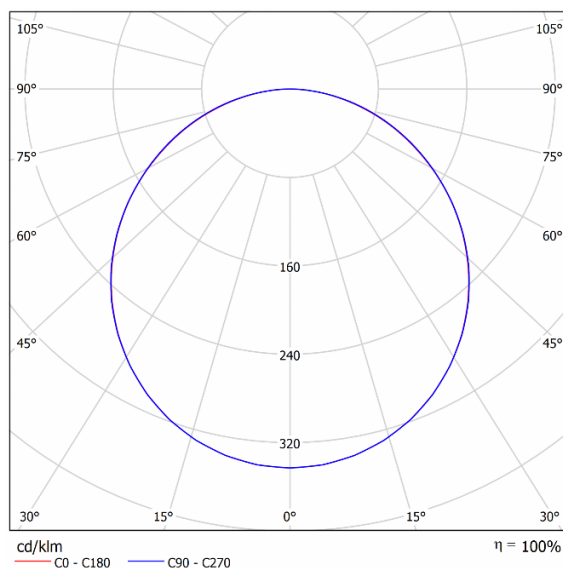


Obr. 4.1: Měřicí místnost při bílém osvětlení

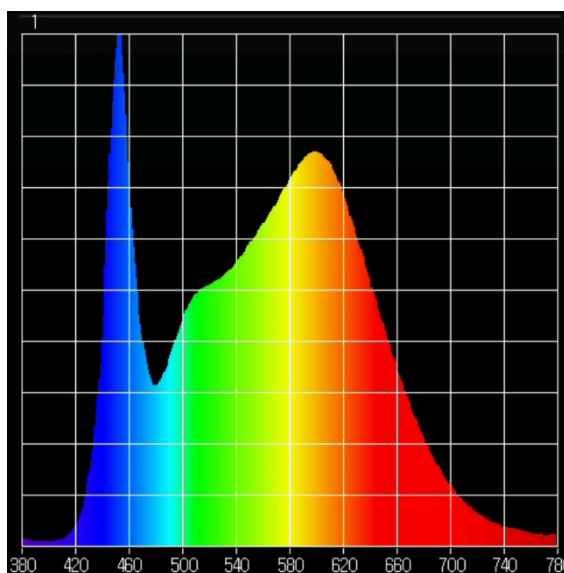


Obr. 4.2: Měřicí místnost při žlutém osvětlení

Jedná se LED svítidlo s opálovým difuzorem pro získání plošného zdroje vyzařování na místo bodových LED diod. Svítidlo používá komunikační protokol DALI DT8, kde je možno upravovat teplotu chromatičnosti v rozsahu 2 700 – 6 500 K. Může být napájeno síťovým napětím 220 – 240 V při frekvenci 50 – 60 Hz. Výkon svítidla je 42,2 W, maximální světelný tok 3 010 lm a index podání barev 80 jak udává výrobce. Křivka svítivosti dle výrobce je na obr. 4.3 [28].



Obr. 4.3: Křivka svítivosti svítidla MILA-S [28]



Obr. 4.4: Světelné spektrum svítidla MILA-S

Vzhledem ke komplikacím v průběhu zpracovávání této práce a změnám ve způsobu měření nebylo možné svítidla připojit k řídicí jednotce a nastavovat teplotu

chromatičnosti dle původních záměrů. Svítidlo bylo pouze připojeno na síť bez jakékoliv regulace. Parametry svítidla byly kontrolně přeměřeny pomocí spektrometru UPRtek MK350N. Intenzita osvětlení byla změřena na 4087 lx, teplota chromatičnosti 4292 K a index podání barev $R_a=88,3$.

Svítidlo má spojitě spektrum přes celé viditelné spektrum se dvěma výraznějšími špičkami. První je velice úzká špička v modré složce na 453 nm kde je také maximum. Druhá ne tak úzká, ale spíše široká a pozvolna narůstající z okolních vlnových délek je o něco nižší špička na rozhraní žluté a oranžové okolo 595 nm. Naměřené spektrum použitého svítidla při daném zapojení, tak jak bylo použito při měření je na obr. 4.4.



Obr. 4.5: Svítidlo MILA-S

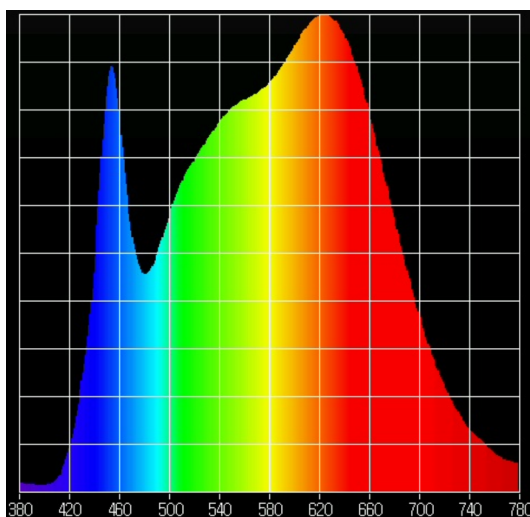
4.1.2 Svítidlo DEN

Jedná se o LED svítidlo připomínající svým tvarem klasické žárovky, stejně tak patice E27 je shodná s klasickými žárovkami. Veškerá řídicí logika je ukryta uvnitř baňky v její úzké části v místě kde se napojuje patice. Baňka je tvořena opálovým difuzorem s luminofory. Název svítidla je podle tří úrovní osvětlení pro danou denní dobu z anglických slov: Day, Evening, Night. Každá ze tří úrovní je navržena pro jednu denní dobu. Konkrétně úroveň pro denní svícení o vysoké intenzitě a s vysokým podílem modré složky, večerní s nižší intenzitou než denní úroveň, ale již s nízkou modrou složkou. Úroveň pro svícení v noci je pouze úzká část spektra na hranici žluté a oranžové složky o velmi nízké intenzitě. Po zapnutí je svítidlo vždy rozsvíceno v úrovni pro noční osvětlení, aby nedošlo k případnému oslnění uživatele, až následně je pak možno osvětlení změnit.

Nejvyšší úroveň osvětlení je určena pro denní svícení. V průběhu dne je důležitá modrá složka spektra, ve které má svítidlo na této úrovni vrchol okolo 450 nm. Stejně tak jsou ale důležité i ostatní vlnové délky. Svítidlo má spojitě spektrum přes celé spektrum viditelné části elektromagnetického spektra, se dvěma vrcholy. První užší právě v modré složce a druhý v oranžové části spektra na 624 nm. Díky hojnému zastoupení všech barev má velice dobrý index podání barev $R_a=97$. Vzhledem k vrcholu v modré části spektra je teplota chromatičnosti téměř 4 000 K. Změřená hodnota Intenzity osvětlení je 684 lx. Svítidlo je vyobrazeno na obr. 4.6. Spektrum potom na obr. 4.7.



Obr. 4.6: DEN Nejvyšší úroveň – svítidlo

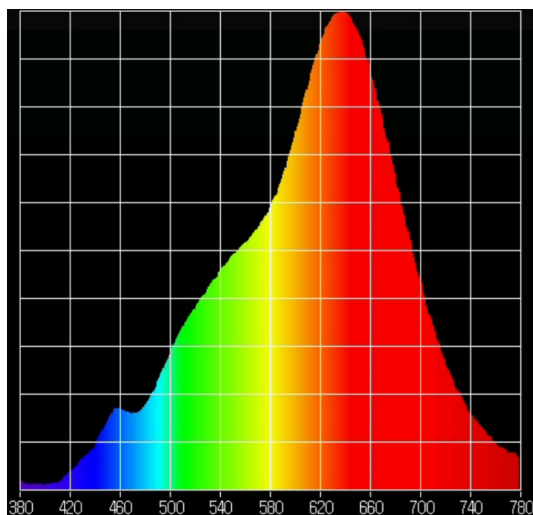


Obr. 4.7: DEN Nejvyšší úroveň – spektrum

Druhá úroveň je určena pro svícení večer. V této denní době by měla být respektována absence slunce. To je zde zastoupeno potlačením modré složky z nejvyššího stupně a snížením intenzity osvětlení na méně než pětinu, a to konkrétně na 120 lx. Snížení modré složky a vrchol spektra již v červené složce na 637 nm, posouvají teplotu chromatičnosti na 2 500 K. Opět díky spojitému spektru má výborný index podání barev $R_a=97,5$. Obrázek svítidla je na obr. 4.8. Spektrum svítidla zapnutého na druhou úroveň je na obr. 4.9.



Obr. 4.8: DEN Střední úroveň – svítidlo



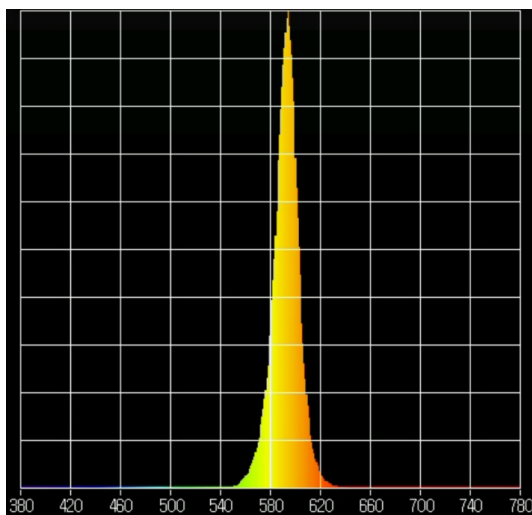
Obr. 4.9: DEN Střední úroveň – spektrum

Poslední nejnižší ze tří úrovní svícení, kterými svítidlo DEN disponuje byla navržena pro noční svícení. Při rozsvícení z úplné tmy by nemělo dojít k velkému oslnění

a primárně při probuzení a rozsvícení v noci k narušení spánkového cyklu, hladiny melatoninu v těle a jeho produkci. Proto světelné spektrum nesmí obsahovat hlavně modrou složku. Právě za tímto účelem jsou ve světelném spektru zastoupeny pouze vlnové délky v rozsahu 560 – 620 nm s vrcholem na 594 nm. Aby nedošlo k oslnění musí intenzita osvětlení být co nejnižší v tomto případě je to pouhých 60 lx. Protože je ve spektru zastoupena pouze žlutá složka je hodnota indexu podání barev v podstatě nulová. Svítidlo je vyobrazeno na obr. 4.10. Spektrum nejnižší úrovně na obr. 4.11.



Obr. 4.10: DEN Nejnižší úroveň – svítidlo



Obr. 4.11: DEN Nejnižší úroveň – spektrum

4.2 Ergometr

Na místo ergometru v podobě běžecího pásu v laboratoři CESA byl použit cyklotrenažér EVO ix. Jedná se o cyklotrenažér určený do vnitřních prostor domů a posiloven s manuálně ovládanou zátěží. Ta je nastavována na otočném mechanismu, který následně přenáší nastavení požadované zátěže na systém tří vzájemně se obíhajících ozubených kol na společné hřídeli. Trenažér dále disponuje volným rámem, který umožňuje náklon celého trenažéru do stran a tím simuluje přirozenější jízdu na kole. Informace o jízdě se zobrazují na zabudovaném displeji, kde je možné sledovat otáčky, ujetou vzdálenost, dobu jízdy a tepovou frekvenci v případě propojení s hrudním pásem značky Polar [29].



Obr. 4.12: Cyklotrenažér EVO ix [29]

4.3 Měřicí zařízení

Pro změření a zaznamenání tepové frekvence byly použity chytré hodinky Garmin Fénix 6X PRO. Hodinky umožňují snímání tepové frekvence optickými snímači ze zápěstí, ale pro vyšší přesnost byl použit hrudní pás stejné značky. Způsob měření tepové frekvence, pás ani hodinky nebyly v průběhu měření měněny pro zachování co nejvyšší shodnosti mezi jednotlivými měřeními vzájemně. Hodnoty jsou po skončení měření odeslány do webové aplikace, kde je možná i vizualizace naměřených dat a jejich základní srovnání. Pro potřeby této práce byla data stažena v surové podobě a následně vyhodnocována. Nevýhodou je neregulérná vzorkovací frekvence snímače tepové frekvence, která se pohybuje v rozsahu 1 – 5 s a není možnost nastavení pevného jednotného vzorkování. Frekvence snímání se také mění v závislosti na fluktuaci tepové frekvence. V případě ustálenější tepové frekvence dochází ke snížení četnosti vzorkování.

4.4 Vyhodnocení prvního měření

Na základě navrženého měření bylo v průběhu dvou týdnů změřeno 10 lidí, z toho 6 mužů a 4 ženy. Z nichž 8 ve věku mezi 20 až 28 lety a 2 ve věku mezi 50 až 55 lety. Všichni v dobrém zdravotním stavu a bez poruchy normálního vnímání barev.

Čas začátku měření se u jednotlivých osob různil dle jejich návyků a časových možností. V jeden den bylo vždy změřeno ráno i večer při stejném osvětlení. První týden byla použita vyšší hodnota intenzity osvětlení se zastoupením všech vlnových délek spektra (dále jen jako bílé osvětlení). To bylo realizováno svítidlem MILA-S, které bylo doplněno svítidlem DEN zapnutém na nejvyšší stupeň ze tří. Druhý týden bylo měření zopakováno s nižší hodnotou osvětlení pouze pomocí svítidla DEN zapnutém na nejnižší stupeň, při kterém je absence většiny vlnových délek až na oblast 560 – 620 nm, které odpovídá žlutá barva (dále označováno jako žluté osvětlení).

Při druhém měření byl kladen důraz na dodržení dne a času. Dále bylo apelováno, aby dny před měřením byly vzájemně co nejpodobnější pro oba dny měření. Fyzická námaha a sportovní aktivity den před měřením měli být omezeny na minimum. Také jídelníček, pokud možno upravit, aby alespoň den předem byl shodný jako den před prvním měřením a stejně tak v den měření. První den měření byla ráno zaznamenána náplň předchozího dne. Večer potom aktivity prováděné v den měření. Dodržování těchto skutečností si každý měřený hlídal sám a nebylo nijak blíže kontrolováno.

Z naměřených hodnoty byly sestrojeny grafy a proloženy klouzavým průměrem. Ty jsou na obrázcích 4.13, 4.14 a 4.15 na grafech A-J. Každý graf odpovídá jedné měřené osobě. V každém grafu jsou čtyři křivky, dvě pro měření první den ráno a večer, dvě pro měření druhý den. Měření ráno jsou znázorněna plnou křivkou, měření večer křivkou přerušovanou. Měření při bílém osvětlení jsou modrou barvou a měření při žlutém osvětlení křivkou žlutou. Pro snadnější orientaci jsou odstíny barev křivek odpovídající stejnému osvětlení, ale jiné době, vyneseny trochu jiným odstínem dané barvy. Večerní měření má barevné odstíny tmavší než měření ráno. Legenda pro přehlednější orientaci je pod posledními dvěma z deseti grafů.

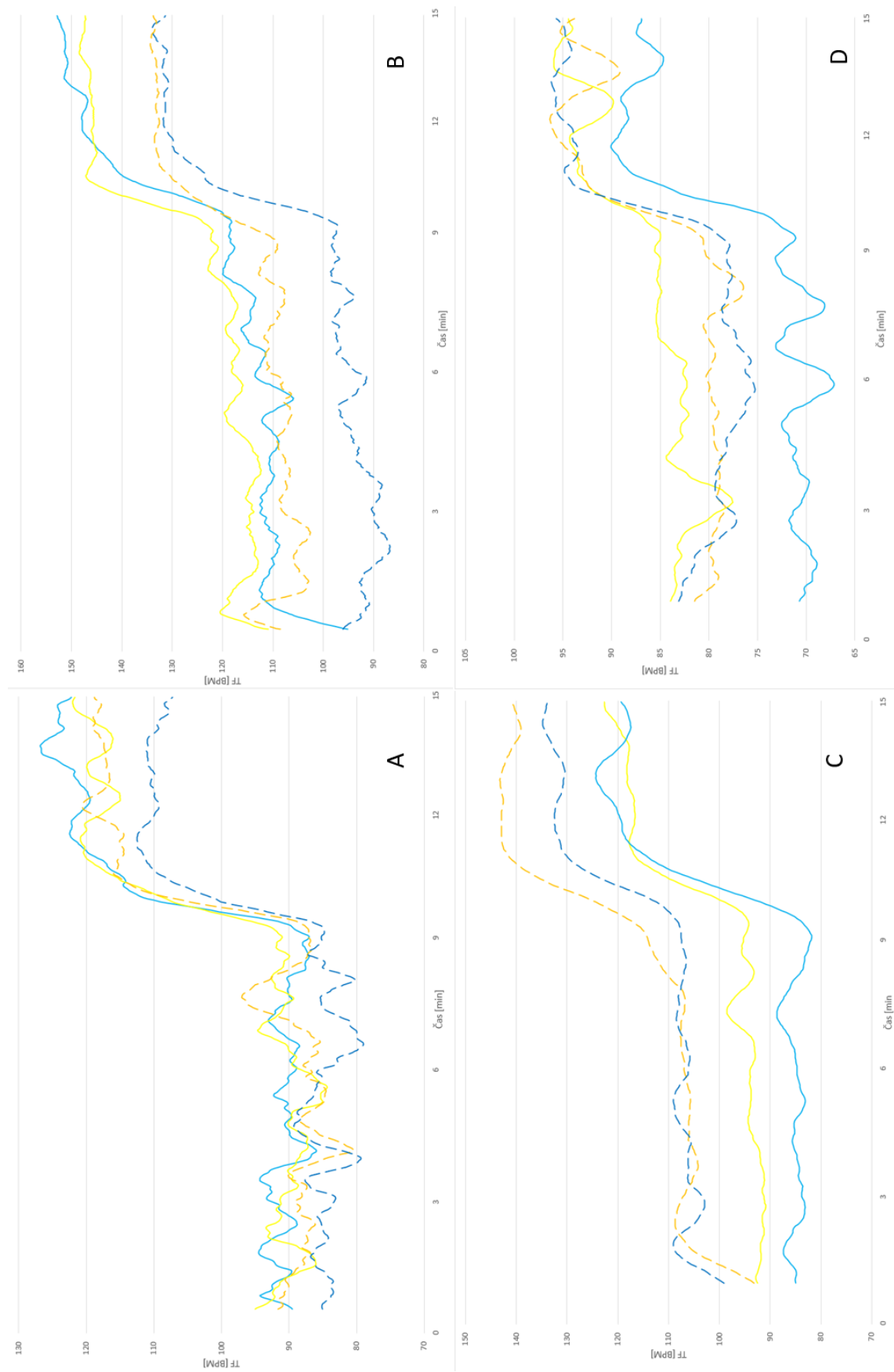
Tato forma měření se neukázala být úplně ideální. U jednotlivých měření není jednoznačně čitelný vliv osvětlení na fyzický výkon. Tepová frekvence při jednom osvětlení byla často podobná tepové frekvenci při osvětlení druhém. Dalo by se říci, že v druhém stupni zátěže jsou výsledky jednotnější a prokazatelnější. Každopádně nejlépe čitelné jsou tepové frekvence měření ráno, kde v šesti z deseti grafů je tepová frekvence vyšší při bílém osvětlení po celou dobu daného měření. K tomu ještě v dalších dvou je tepová frekvence u bílého světla vyšší právě při druhém stupni zátěže. Takže ráno pro druhý stupeň zátěže je v osmi případech z deseti vyšší tepová frekvence za bílého osvětlení než za žlutého. Na druhou stranu ve večerních měřeních

je tepová frekvence vyšší u žlutého osvětlení než u bílého v celém průběhu měření také u šesti z deseti měření. Navíc u jednoho ještě při druhé zátěži. Hodnoty jsou shrnuty v tab. 4.1.

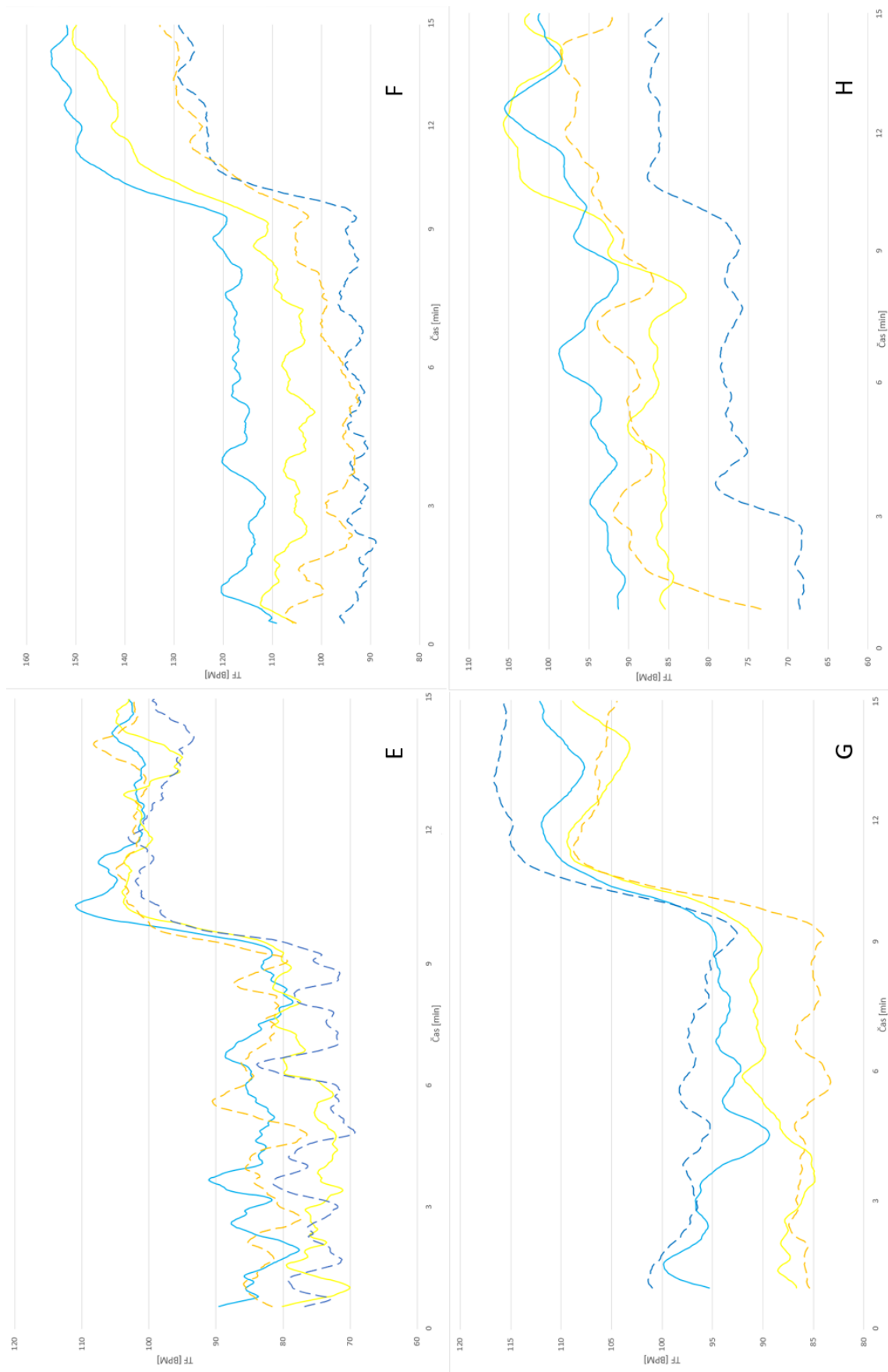
I drobné změny nálad způsobují markantní změny měřených hodnot mající za následek nemožnost přesného posouzení vlivů světla na podaný fyzický výkon. Je obtížné od sebe odlišit vliv osvětlení, vnějších vlivů na měřenou osobu a aktuálního psychického a fyzického stavu dané osoby. Každý člověk reaguje na odlišné situace subjektivně a výsledná míra reakce organismu se může hodně různit. Objektivně posoudit, jak moc se zvýší tepová frekvence na základě různých skutečností je téměř nemožné. Není tedy možné říci, jak moc a jakým způsobem se který vliv promítne do námi měřených hodnot. V podstatě nelze docílit dvou naprosto identických psychických rozpoložení a fyzických stavů. Proto například u dvou měření ráno, kde každé je při jiném osvětlení, není možno s jistotou říci, co bylo způsobeno právě odlišným osvětlením. Měření mělo původně obsahovat podstatně větší množství měřených osob. To se bohužel ukázalo jako podstatná komplikace vzhledem k nouzovému stavu a omezením spojeným s šířením viru COVID-19. Každopádně po vyhodnocení těchto první deseti lidí bylo od této metody měření upuštěno a přistoupeno k úpravám a navržení druhého rozsáhlejšího a dlouhodobějšího měření.

Tab. 4.1: Tepová frekvence při zátěži

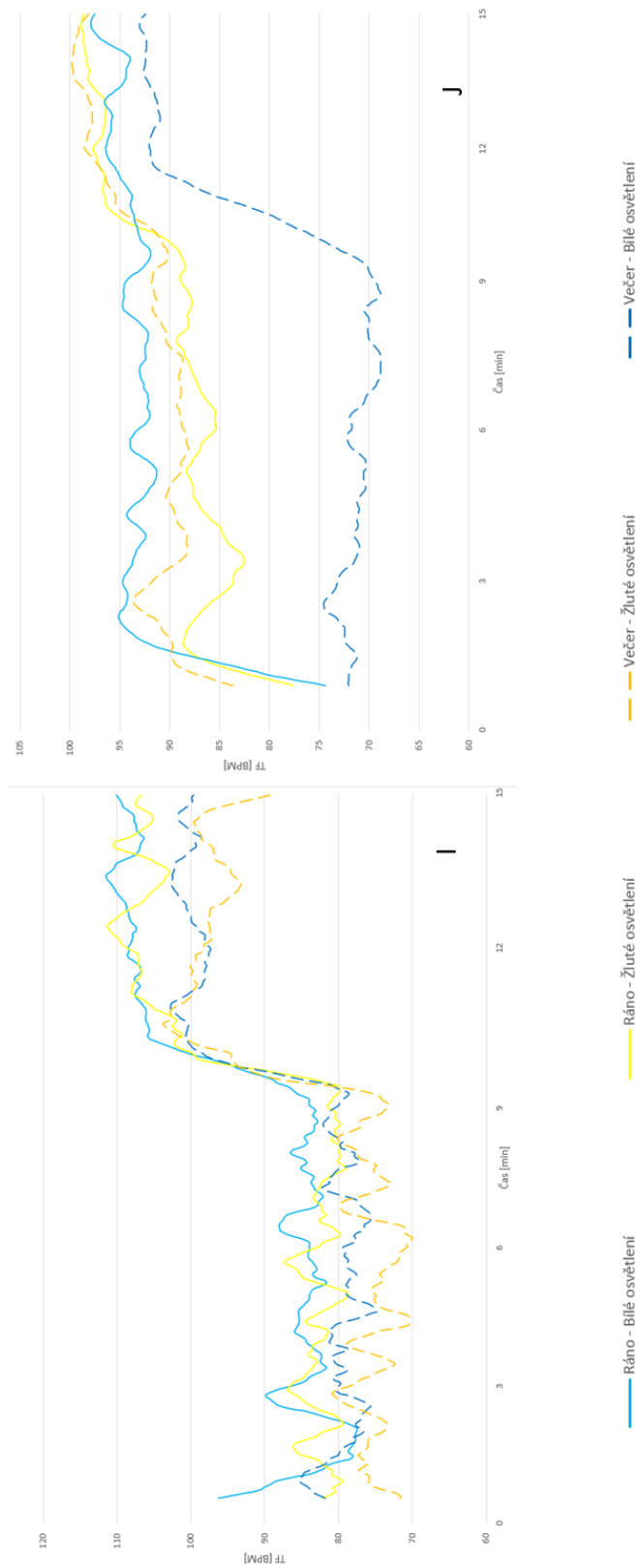
		Žlutá	Bílá	Stejně
Ráno	1. zátěž	30 %	60 %	10 %
	2. zátěž	20 %	80 %	0 %
Večer	1. zátěž	60 %	20 %	20 %
	2. zátěž	70 %	10 %	20 %



Obr. 4.13: Grafy A až D



Obr. 4.14: Grafy E až H



Obr. 4.15: Grafy I a J

5 Druhé upravené měření

Průběh měření zůstal stejný se vším všudy. Jediné, co se změnilo je počet měření. Měření se již neúčastnilo deset lidí, ale pouze jen čtyři, dva muži a dvě ženy. Dva zúčastnění měli věk mezi 23 a 25 lety a dva mezi 50 a 55 lety. Všichni v dobrém zdravotním stavu a bez poruchy normálního vnímání barev. Každý teď měření podstupoval denně ráno a navečer s tím, že každý den se měnilo osvětlení pro eliminaci shodných výkyvů způsobených rutinním trávením času. Celé měření probíhalo po dobu jednoho měsíce, kdy každý odměřil 2 až 3 týdny podle svých možností. Průměrně každý odměřil 16 dní. Nejvíce bylo naměřeno 20 dní v kuse bez vynechání jediného dne. V průběhu měření nebyly nijak omezovány fyzické aktivity ani upravován jídelníček. Všechny aktivity byly zaznamenávány pro následné srovnání s naměřenými výsledky a případnou korekci. Kromě aktivit v průběhu dne byla také zaznamenávána kvalita spánku, dle subjektivního posouzení měřeného jedince, pocity z měření a psychická pohoda při měření. Po dobu měření byla v místnosti udržována teplota mezi 19°C a 20°C.

Ranní měření většinou probíhala ještě před snídaní, a to chvíli poté co člověk vstal, případně dorazil do místa měření. Každý chodil měřit dle svého uvážení v čase vyhovujícím jeho návykům. Tento čas byl dodržován v rozsahu jedné hodiny každý den. To stejné platí pro odpolední hodiny, kdy měření probíhalo před večerí. Ranní měření probíhala mezi 6 a 9 a odpolední měření potom mezi 17 a 20 hodinou.

5.1 Výsledky druhého upraveného měření

Tato měření již byla oproti prvotnímu návrhu podstatně jasnější, co se vyhodnocení výsledků týče. Měření ráno se v podstatě shodovalo u všech měřeních. Při bílém osvětlení tepová frekvence dosahovala vyšších hodnot o 5 až 20 tepů za minutu. Nárůst se projevil v obou stupních zátěže velice podobně. U první zátěže mělo osvětlení za následek nárůst tepové frekvence ve většině případů o 10 až 15 tepů za minutu. Při druhém stupni byl nárůst nižší, většinou mezi 5 a 10 tepy za minutu. Hodnoty pro měření ráno jsou uvedeny v tab. 5.1. Jeden z grafů ranního měření pro všechny relevantní hodnoty je vyobrazen na obr. 5.1.

Měření večer již tak jednoznačná nejsou. Jeden člověk měl tepovou frekvenci vyšší u bílého osvětlení, a to pro obě zátěže, kdy změna oproti žlutému osvětlení byla mezi 5 a 15 tepy. Každopádně u ostatních převažovala vyšší tepová frekvence u žlutého osvětlení. V prvním stupni zátěže byla vyšší tepová frekvence změřena pro žluté osvětlení ve 3 ze 4 případů a její nárůst byl až o 15 tepů za minutu oproti osvětlení bílému. Pro druhý stupeň zátěže zůstala vyšší tepová frekvence pro žluté osvětlení u dvou měřených osob. Tepová frekvence se různila přibližně o 5 tepů

za minutu. U jedné měřené osoby došlo ke změně a vyšší tepová frekvence byla při bílém osvětlení. Rozdíl tepových frekvencí se pohybovala také okolo 5 tepů za minutu. Tím pádem při první zátěži byla vyšší tepová frekvence naměřena u jednoho člověka v bílém osvětlení a u třech ve žlutém. Ve druhém stupni potom pro žluté osvětlení měli tepovou frekvenci vyšší dva měření jedinci a pro bílé osvětlení také dva. Hodnoty pro měření večer jsou uvedeny v tab.5.2. Jeden z grafů večerního měření pro všechny relevantní hodnoty je vyobrazen na obr.5.2.

Tab. 5.1: Přibližný rozsah tepových frekvencí měření ráno

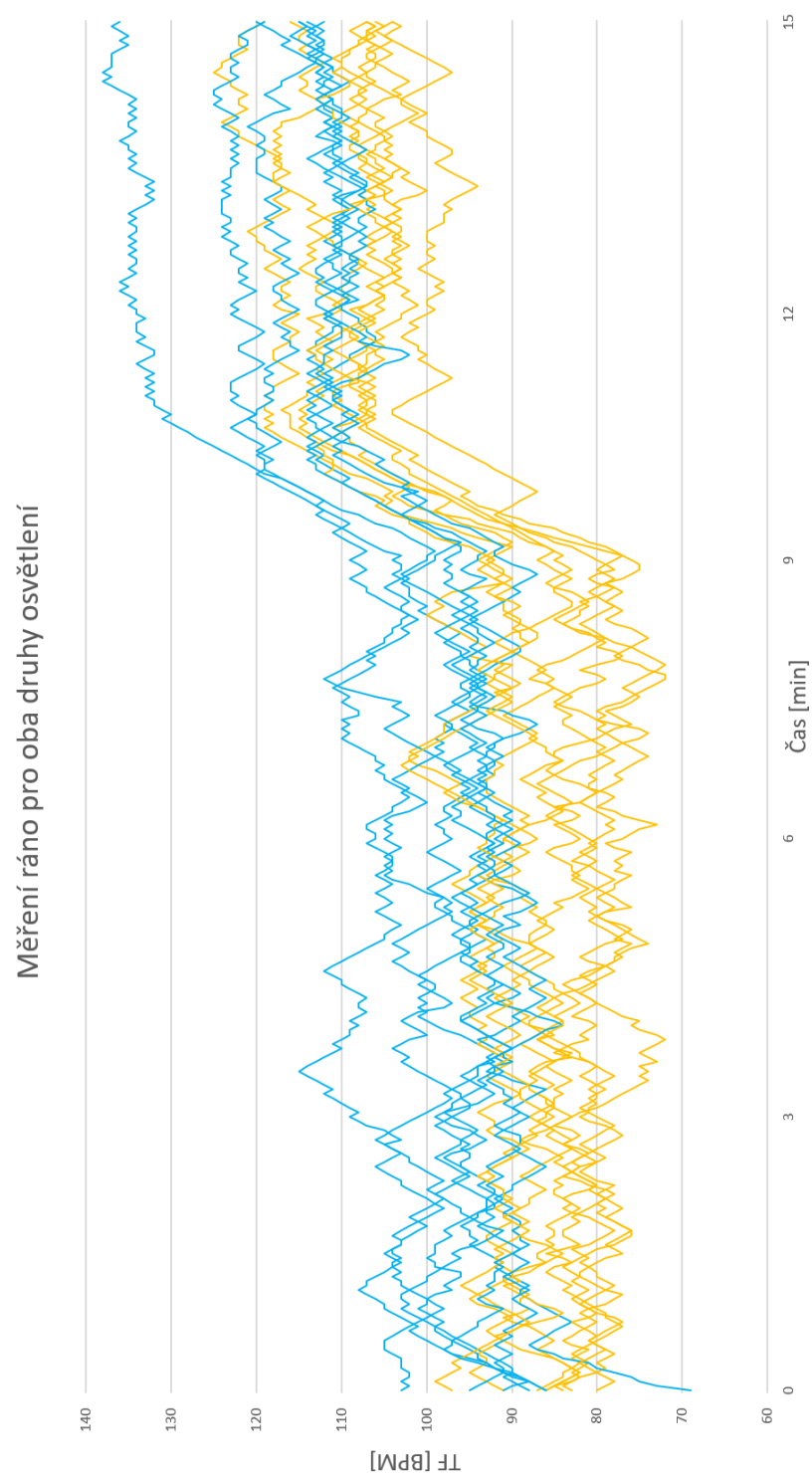
Přibližný rozsah tepových frekvencí měření ráno [bpm]				
Osoby	1. zátěž – žluté	1. zátěž – bílé	2. zátěž – žluté	2. zátěž – bílé
1	75-95	85-105	105-115	105-125
2	70-90	85-100	80-105	90-110
3	90-115	100-120	130-150	140-155
4	75-90	85-105	90-120	100-125

Tab. 5.2: Přibližný rozsah tepových frekvencí měření večer

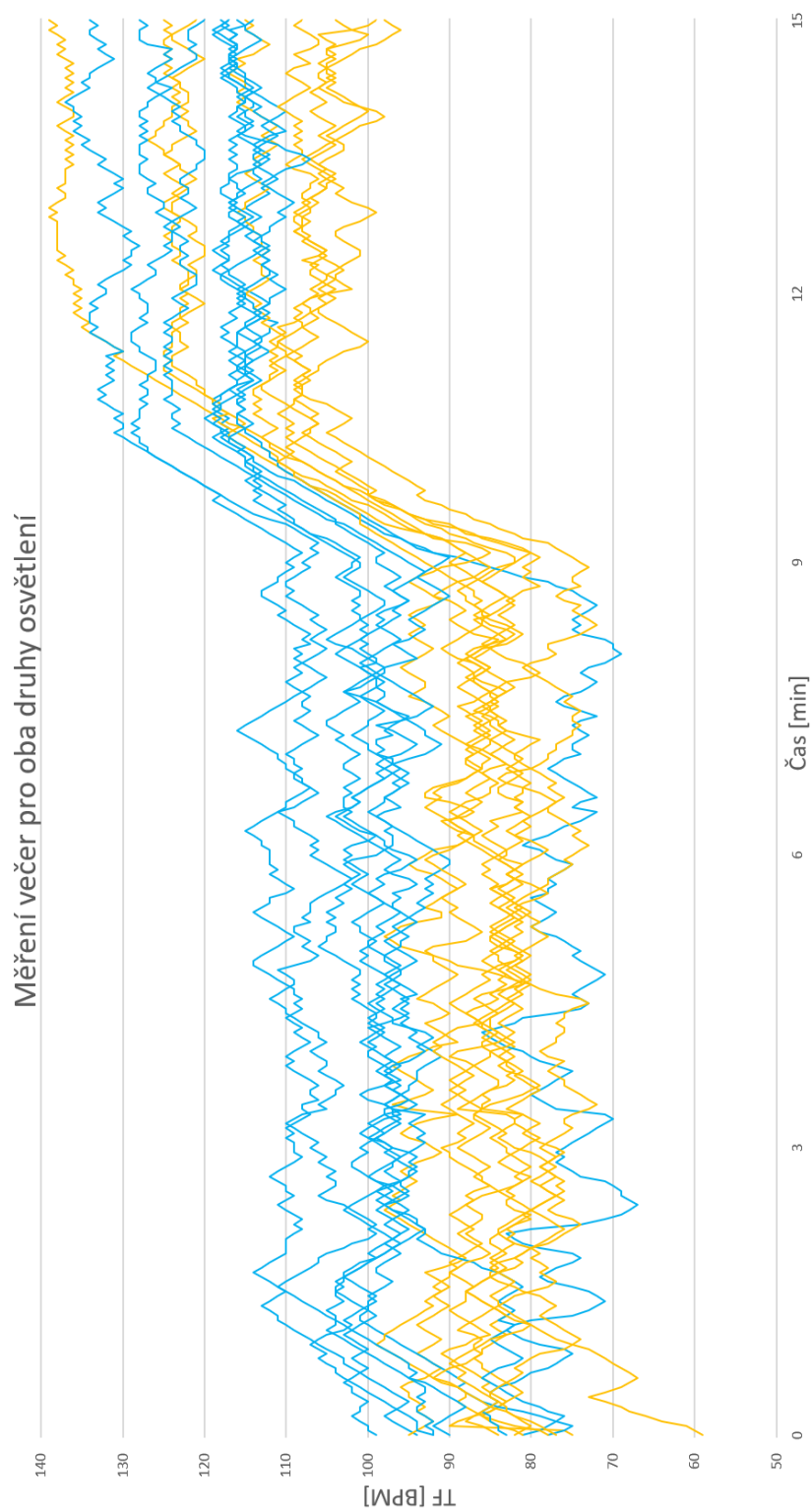
Přibližný rozsah tepových frekvencí měření večer [bpm]				
Osoby	1. zátěž – žluté	1. zátěž – bílé	2. zátěž – žluté	2. zátěž – bílé
1	80-95	75-110	100-125	110-130
2	77-92	70-92	90-102	85-97
3	95-115	90-110	130-150	125-145
4	70-100	75-90	95-115	100-120

Dále byly blíže prozkoumány průběhy jednotlivých měření zvlášť, především míra kmitání a amplituda výkyvů tepové frekvence, překmity při srovnávání se na novou zátěž a rozptyl hodnot tepové frekvence pro jednotlivá měření. U žádné z těchto skutečností nelze s jistotou tvrdit, že by na ně mělo osvětlení markantnější vliv.

Dalším zkoumaným aspektem byl nárůst tepové frekvence při přechodu z nízké zátěže na vyšší. Za tímto účelem byly spočteny průměrné hodnoty tepových frekvencí



Obr. 5.1: Měření ráno pro oba druhy osvětlení



Obr. 5.2: Měření večer pro oba druhy osvětlení

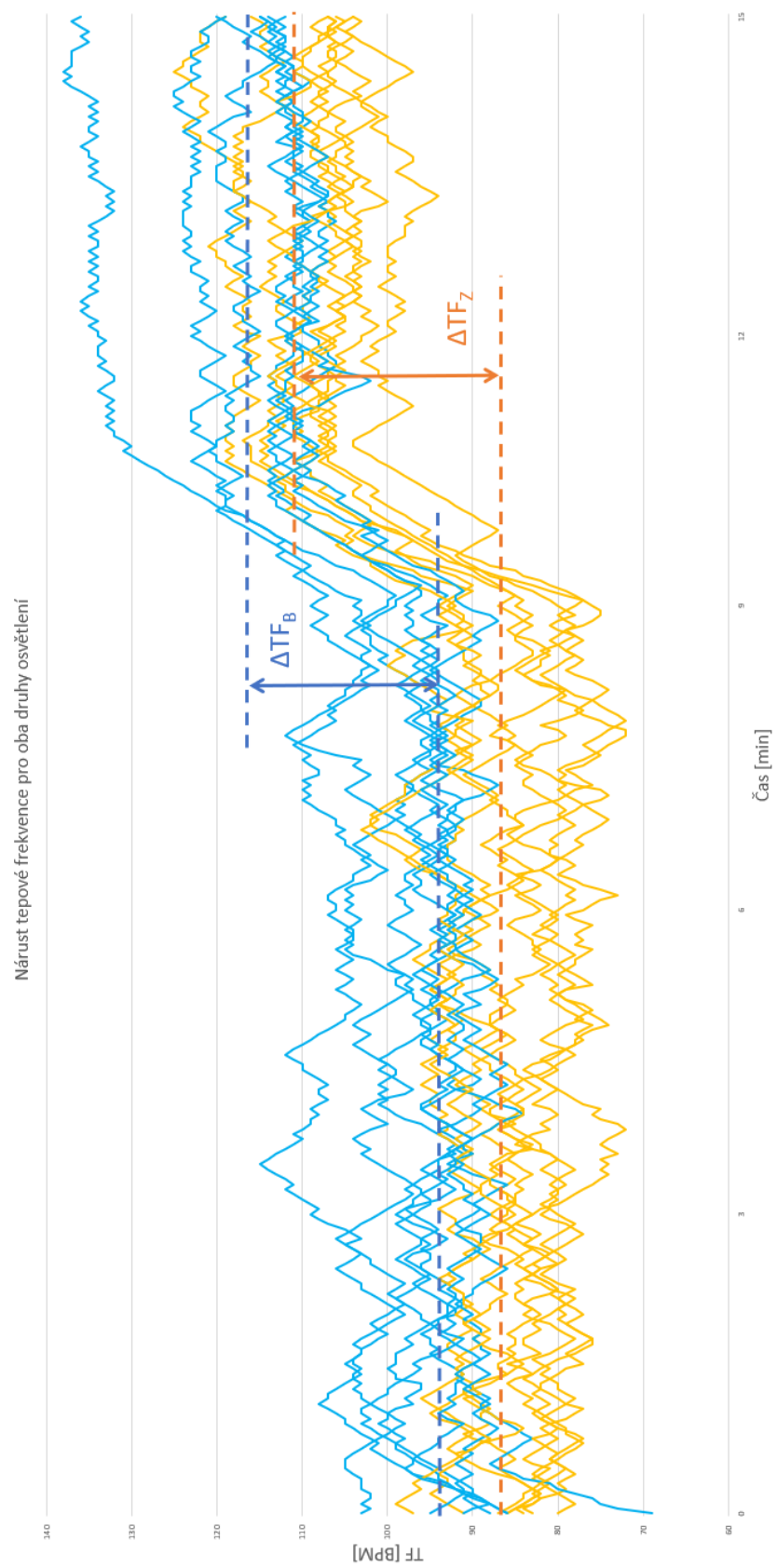
pro každou zátěž a osvětlení. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.3 a 5.4. Znázornění odečtu nárustu tepové frekvence je na obr. 5.3. Rozdíly nejsou nijak markantní, ale jistá difference zde je. Rozdíly ve středních hodnotách mezi žlutým a bílým osvětlením pro stejnou denní dobu dosahovali nejvýše 6 tepů. Úrovně tepové frekvence žlutého osvětlení ráno a večer se lišily nejvýše jen o 2,5 tepu. Hodnoty mezi bílým osvětlením ráno a bílým osvětlením večer se lišily až o 8 tepů. Ráno byl vyšší nárůst zaznamenán u žlutého osvětlení u tří ze čtyř testovaných osob, průměrně téměř o 3 tepe. Ve večerních hodnotách měli dva vyšší nárůst u žlutého osvětlení, a to o 2,5 tepu a dva u bílého osvětlení o 2 tepe. Hodnoty nejsou příliš jednoznačně průkazné, na to by bylo třeba širšího měřeného vzorku. Každopádně je zde vidět, že ve žlutém osvětlení dochází k vyšším nárůstům tepové frekvence se zvyšující se zátěží a nároky na fyzickou aktivitu. Hodnoty nárustu tepových frekvencí jsou uvedeny v tab. 5.5.

Tab. 5.3: Střední tepová frekvence měření ráno

Střední tepová frekvence měření ráno [bpm]				
Osoby	1. zátěž – žluté	1. zátěž – bílé	2. zátěž – žluté	2. zátěž – bílé
1	87,28	94,16	111,4	116,88
2	82,68	91,05	92,87	97,21
3	106,86	110,76	143,98	149,49
4	85,58	91,87	108,09	111,63

Tab. 5.4: Střední tepová frekvence měření večer

Střední tepová frekvence měření večer [bpm]				
Osoby	1. zátěž – žluté	1. zátěž – bílé	2. zátěž – žluté	2. zátěž – bílé
1	87,61	96,29	111,53	117,71
2	86,31	78,19	97,50	90,30
3	105,71	103,31	139,29	134,19
4	84,57	85,60	106,98	110,91



Obr. 5.3: Nárůst tepové frekvence pro oba druhy osvětlení

Tab. 5.5: Nárůst tepové frekvence ΔTF

Nárůst tepové frekvence ΔTF [bpm]				
	Ráno		Večer	
Osoby	Žluté	Bílé	Žluté	Bílé
1	24,12	22,72	23,92	21,42
2	10,19	6,16	11,19	12,11
3	37,12	38,73	33,58	30,88
4	22,51	19,76	22,41	25,31

5.2 Rozbor výsledků

U měření ráno jsou výsledky pravděpodobně založeny na sekreci kortizolu a potlačení produkce melatoninu. Pokud člověk jde do místnosti měření se žlutým osvětlením chvíli po probuzení, nemusí být ještě produkce kortizolu plně v chodu. Žluté osvětlení a tím pádem absence krátkých vlnových délek nemá za efekt podpoření produkce melatoninu, jak by tomu bylo u osvětlení s modrou složkou spektra. Dotyčný se proto plně neprobere, je více v klidu a tepová frekvence je nižší. Při měření s bílým světlem je podpořen přirozený chod hormonální sekrece. Tvorba melatoninu se postupně zastaví a je dále povzbuzována tvorba kortizolu. Člověk se tedy úplně probere a při měření má vyšší tepovou frekvenci. Vzhledem k tomu že při měřeních neprobíhalo měření hladiny melatoninu v krvi nelze tento předpoklad potvrdit.

U měření večer by dle předchozích měření měly být stejně jako u měření ráno naměřeny vyšší tepové frekvence při osvětlení s vyšší intenzitou a zastoupením kratších vlnových délek, kterému odpovídá bílé osvětlení. Vyšší tepové frekvence byly ale naměřeny především u žlutého osvětlení, které mělo jak nižší intenzitu, tak kompletní absenci nízkých vlnových délek. To mohlo být výsledkem stresu vyvolaného zvýšenou fyzickou aktivitou ve večerní hodině a právě při slabém osvětlení, především u měření uskutečněných v pozdějších hodinách. Tělo již zpomaluje metabolické procesy a dochází k celkovému zklidnění, které je ještě podpořeno typem osvětlení. Náhlá fyzická zátěž může mít proto za následek výrazný nárůst tepové frekvence jako projev reakce organismu na stresovou situaci. U bílého osvětlení, kde je přítomnost krátkých vlnových délek, tělo zůstává nabuzené a zvýšená fyzická aktivita není tak stresující.

Každopádně s rostoucí tepovou frekvencí roste spotřeba kyslíku a živin v těle

a fungování organismu se stává postupně méně efektivním. Tím pádem vzhledem k tomu, že u bílého osvětlení byla tepová frekvence ve většině případů vyšší, je možno tvrdit, že při tomto osvětlení člověk podá horší fyzický výkon než u osvětlení žlutého.

5.3 Subjektivní hodnocení

Ne vždy se shodují naměřená data se subjektivními pocity účastníků měření. Každopádně v případě žlutého osvětlení se v podstatě všichni shodli, že vyvíjená fyzická činnost pro ně byla horší. U ranních měření byl častý pocit „že se člověk nemůže probrat“, pocity únavy a ospalosti, pocity psychického „utlumení“ či svalové slabosti. Na druhou stranu nebyl ojedinělý ani pocit stresu a psychický diskomfort v souvislosti právě s nedostatečným osvětlením. Vyšší zátěž potom často připadala náročnější než u bílého osvětlení.

Bílé osvětlení mělo za efekt pocit vyšší bdělosti a nabuzení. Ve většině případů vykonávaná fyzická aktivita při této úrovni osvětlení připadala účastníkům komfortnější a reakce organismu spíše klidnější. Stejně tak adaptace na zvýšení zátěže ve druhém stupni měření, byla pro většinu osob příjemnější a nepůsobila tak náročně, jako tomu bylo u žlutého osvětlení.

Domácí prostředí pravděpodobně výrazně přispělo k vyššímu psychickému komfortu měřených osob. Většina měřených osob neměla pocity nervozity, jaké máme často spojované s návštěvou lékaře nebo specializovaných odborných laboratoří a rychle si na měřicí prostředí zvykla. Počet měření a relativně krátký proces zvykání si na prostředí, ve kterém měření probíhá, také výrazně napomohly k získání reliabilních výsledků celého měření.

Závěr

Tato práce se zabývala vlivem světla na člověka a posouzením vlivu světla na fyzický výkon. První kapitola této práce je teoretickým úvodem do problematiky vlivu světla na člověka. Nejprve byla popsána fyziologie a stavba vjemových orgánů a způsob vnímání a zpracování světla. Dále pak fyziologické účinky světla od krátkých časových intervalů až po dlouhodobější působení, vliv modrého světla a respektování přirozeného svitu slunce v návrhu osvětlovacích soustav. Následující kapitola navázala na předchozí a v úvodu se věnovala projevům světla na fyziologii člověka a měření ve fyziologii, kterými jsou změny a stav lidského těla zaznamenávány.

Na teoretický rozbor navazuje kapitola, ve které byl popsán návrh měřící metody včetně použití přístrojů a konkrétních měřících metod. První navržená metoda a především laboratoř a přístroje nemohly být použity z důvodu pandemie viru COVID-19, která měla za následek uzavření areálu, kde mělo měření proběhnout. Proto byla navržena druhá metoda zohledňující jiné laboratorní podmínky. Toto měření bylo následně provedeno a na základě získaných výsledků měřící metoda poupravena a měření provedeno znovu dle upraveného návrhu předchozí metody. V závěru této kapitoly proběhlo vyhodnocení druhého upraveného měření včetně přiložené fotodokumentace a hodnot z měření.

Závěrečnou částí této práce je rozbor naměřených dat finální navržené metody měření. Byly zde rozebrány dopady osvětlení na organismus zjištěné z měření a předpokládaná fyziologická reakce na tento vliv. V poslední části bylo provedeno subjektivní zhodnocení ze strany měřených osob a jejich vnímání efektů osvětlení při měření.

Literatura

- [1] BALSKEY, Marek, Rudolf BAYER, Jan ZALESKÝ a Zuzana PANSKÁ. Use of tunable white luminaires for biodynamic lighting. In: *2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-4 [cit. 2020-01-03]. DOI: 10.1109/EPE.2017.7967277. ISBN 978-1-5090-6406-9. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7967277/>>.
- [2] *Zrak*. [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.powerwiki.cz/attach/A5M15ES1/A5M15ES1-02-Zrak.pdf>>.
- [3] Eye diagram. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye-diagram_no_circles_border.svg>.
- [4] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [5] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [6] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [7] *Buňky a jejich funkce*. [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z URL: <https://www.wikiskripta.eu/w/Sv%C4%9Btlocitliv%C3%A9_bu%C5%88ky_a_jejich_funkce>.
- [8] FOSTER, Russell G. The ‘Third’ Photoreceptor System of the Eye – Photosensitive Retinal Ganglion Cells. *European Ophthalmic Review* [online]. 2009, 02(01) [cit. 2020-01-03]. DOI: 10.17925/EOR.2009.02.01.84. ISSN 1756-1795. Dostupné z: <<http://www.touchophthalmology.com/articles/third-photoreceptor-system-eye-photosensitive-retinal-ganglion-cells>>.
- [9] PAČESOVÁ, Dominika. *Suprachiasmatická jádra jako denní hodiny a kalendář* [online]. Praha, 2011 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/50321/BPTX_2010_1__0_200226_0_93471.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyziologie živočichů.

- [10] DVOŘÁK, Petr. *Vliv modrého světla na lidský organismus* [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/11012/60483>>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jaroslav Štěpánek.
- [11] Světlo a biologické hodiny. Antonín Fuksa. Časopis světlo 2010/6
- [12] Ashdown, Ian & Eng, P. (2019). Circadian Lighting An Engineer's Perspective.
- [13] MORITA, Takeshi a Hiromi TOKURA. The Influence of Different Wavelengths of Light on Human Biological Rhythms. *APPLIED HUMAN SCIENCE Journal of Physiological Anthropology* [online]. 1998, 17(3), 91-96 [cit. 2020-05-01]. DOI: 10.2114/jpa.17.91. ISSN 1341-3473. Dostupné z: <<http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jpa/17.91?from=CrossRef>>.
- [14] *Srdeční frekvence*. [online]. Poslední revize 2020. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z URL: <<https://www.tlakomery.cz/encyklopedie-krevniho-tlaku/srdecni-frekvence>>.
- [15] LUKÁŠOVÁ, Jana. Máte srdce sportovce [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z URL: <<https://run-magazine.cz/hlavni/zdravi/mate-srdce-sportovce>>.
- [16] PUMPRLA, Jiří, SOVOVÁ, Eliška, HOWORKA, Kinga. Variabilita srdeční frekvence: Využití v interní praxi se zaměřením na metabolický syndrom. Interní Med. 2014.
- [17] BOTEK, Michal, Filip NEULS, Iva KLIMEŠOVÁ a Jaroslav VYHNÁNEK. *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly)*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017-. ISBN 978-80-244-5307-1.
- [18] TROTMAN, Gavin P., Jet J. C. S. VELDHUIJZEN VAN ZANTEN, Jack DAVIES, Clara MÖLLER, Annie T. GINTY a Sarah E. WILLIAMS. Associations between heart rate, perceived heart rate, and anxiety during acute psychological stress. *Anxiety, Stress, & Coping* [online]. 2019, 32(6), 711-727 [cit. 2020-05-01]. DOI: 10.1080/10615806.2019.1648794. ISSN 1061-5806. Dostupné z: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10615806.2019.1648794>>.
- [19] SILVERI, Giulia, Lorenzo PASCAZIO a Agostino ACCARDO. *Relationship Between Blood Pressure and Heart Rate Circadian Rhythms in Normotensive and Hypertensive Subjects* [online]. [cit. 2020-05-01]. DOI:

- 10.22489/CinC.2018.273. Dostupné z: <<http://www.cinc.org/archives/2018/pdf/CinC2018-273.pdf>>.
- [20] MEĎA, Patrik. Biologické rytmy in Funkce buněk a lidského těla. [cit.2020-01-05]. Dostupné z URL: <<http://fb.lt.cz/skripta/regulacni-mechanismy-2-nervova-regulace/11-biologicke-rytmy/>>.
- [21] SEKYRA, Jiří. Tepová frekvence a věk [online]. 2013. [cit.2020-01-05]. Dostupné z URL: <<https://www.sportvital.cz/sport/tepova-frekvence-a-vek>>.
- [22] FN Motol. *Fakultní nemocnice v Motole* [online]. Poslední revize 2012, [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <<http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospele/komplexni-kardiovaskularni-centrum-pro-d1/informace-pro-pacienty/bicyklova-ergometrie/>>.
- [23] *Ergometrie*. [online]. [cit.2020-01-03]. Dostupné z URL: <<https://www.wikiskripta.eu/w/Ergometrie>>.
- [24] *Ergometrie a spirometrie*. [online]. [cit.2020-01-03]. Dostupné z URL: <<http://www.kardioambulance.cz/poskytovana-pece/Ergometrie-a-spiroergometrie-3>>.
- [25] *LODE Valiant 2 sport*. [online]. [cit.2020-01-03]. Dostupné z URL: <<http://www.compek.cz/lode-valiant-2-sport-xl.htm>>.
- [26] *Ergometr Excalibur sport*. [online]. [cit.2020-01-03]. Dostupné z URL: <<http://www.compek.cz/ergometr-excalibur-sport.htm>>.
- [27] *Ergoselect 400*. [online]. [cit.2020-01-03]. Dostupné z URL: <<http://www.compek.cz/ergoselect-400.htm>>.
- [28] *Svítilno MILA-S*. [online]. [cit.2020-01-05]. Dostupné z URL: <<https://www.halla.cz/101s-200k-10ggq-tc-w>>.
- [29] *Evo Fitnes Spin Bike*. [online]. [cit.2020-01-05]. Dostupné z URL: <<https://www.sharperimage.com/si/view/product/Evo+Fitness+Spin+Bike/205183>>.